



ANALISIS PERFORMA ENERGI LISTRIK SISTEM *PHOTOVOLTAIC-THERMAL* (PV/T) DENGAN PENGAPLIKASIAN TEDLAR DAN KACA PELINDUNG

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi Teknik Elektro



oleh :

MUHAMMAD FAISAL

11555102841

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU
2019**

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS PERFORMA ENERGI SISTEM *PHOTOVOLTAIC-THERMAL* (PV/T) DENGAN PENGAPLIKASIAN TEDLAR DAN KACA PELINDUNG

TUGAS AKHIR

Oleh :

MUHAMMAD FAISAL
11555102841

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro,
di Pekanbaru, pada tanggal 21 Oktober 2019

Ketua Program Studi

Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19750922 200912 2 002

Pembimbing

Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc.
NIK. 130517054

UIN SUSKA RIAU



© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERFORMA ENERGI SISTEM *PHOTOVOLTAIC-THERMAL* (PV/T) DENGAN PENGAPLIKASIAN TEDLAR DAN KACA PELINDUNG

TUGAS AKHIR

Oleh:

MUHAMMAD FAISAL
11555102841

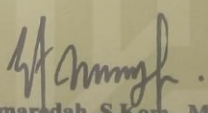
Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau di Pekanbaru, pada tanggal 21 Oktober 2019

Pekanbaru, 21 Oktober 2019

Mengesahkan,


PLT. Dekan
Dr. H. Suryah A. Jamrah, MA
NIP. 19591009 198803 1 004

Ketua Program Studi


Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19750922 200912 2 002

Dewan Penguji :

Ketua : Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.

Sekretaris : Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc.

Anggota I : Susi Afriani, S.T., M.T.

Anggota II : Aulia Ullah, S.T., M.Eng.

iii



LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Pekanbaru, 21 Oktober 2019

Yang membuat Pernyataan,

Muhammad Faisal
NIM. 11555102841

UIN SUSKA RIAU



LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ

“Karena sesungguhnya bersama setiap kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama setiap kesulitan ada kemudahan”(Q.S Al Insyirah : 5 - 6).

“Untuk Ibu, Ibu, Ibu Nazirah Tercinta dan Ayahanda
Syahrul Terhormat, serta Istri Dwi Citra Jayati
Karya ini kupersembahkan untuk kalian”

Alhamdulillah puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah SWT, yang selalu memberikan limpahan rahmat dan karunia-Nya. Salawat dan salam ucapkan kepada nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari zaman jahiliah hingga zaman islamiah.

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk orang tua yang telah memberikan saya kesempatan untuk bisa menjadi seorang anak yang mandiri dan terdidik, dengan kerja keras dan do’a – do’a yang selalu Ibu, Ayah panjatkan di dalam sujudmu demi masa depan anak- anakmu, dan istri tercinta yang selalu memberi dukungan dan semangat. Semoga dengan menyelesaikan masa belajar ini kami berharap bisa menjadi kebanggaan untukmu. Ucapan terima kasih yang sangat besar bagi dosen pembimbing Ibu Marhama Jelita ,S.Pd., M.Sc., saudara perjuangan Tommy Afri Putra yang secara tidak langsung menjadi mentor diskusi dan saudara perjuangan TED’15 selaku wadah inspirasi. semoga Allah limpahkan keberkahan, kesehatan dan umur yang panjang, tak terbalas jasa mu yang begitu luas dan dalam.



ANALISIS PERFORMA ENERGI LISTRIK SISTEM *PHOTOVOLTAIC-THERMAL* (PV/T) DENGAN PENGAPLIKASIAN TEDLAR DAN KACA PELINDUNG

MUHAMMAD FAISAL

NIM. 11555102841

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Sistem *Photovoltaic*(PV) mampu mengkonversi energi matahari menjadi daya listrik, namun tidak semua energi matahari mampu dikonversi menjadi daya listrik secara efisien. Hal ini disebabkan karena penurunan efisiensi akibat meningkatnya temperatur sel PV. Untuk mengatasi penurunan efisiensi, maka penelitian ini mengusulkan sistem kombinasi *photovoltaic-thermal*(PV/T) guna meningkatkan daya listrik. Penelitian ini bertujuan mengetahui performa energi sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung, pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung sebagai media transfer *thermal* dan melindungi sistem PV/T. Pada penelitian ini dilakukan asumsi ketebalan dan variasi *reservoir wall*. Analisis performa yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan peranti lunak comsol 4.3b yang meliputi dari daya listrik, energi *thermal*, efisiensi total dan *primary energy saving*(PES). Hasil dari analisis menunjukan performa pada temperatur sebesar 306.25 K, dengan performa daya listrik sebesar 37.915 W, performa energi *thermal* sebesar 218.035 W, efisiensi total sebesar 82.737%, dan efisiensi PES sebesar 72.17%. Sedangkan penggunaan sistem PV memperoleh temperatur sel PV sebesar 340.757 K, dengan Perolehan daya listrik sebesar 30.527 W.

kata kunci : *Photovoltaic-Thermal*, Comsol, Litrik, *Thermal*, PES



ANALYSIS OF ELECTRIC ENERGY PERFORMANCE PHOTOVOLTAIC-THERMAL (PV/T) SYSTEM WITH TEDLAR APPLICATION AND PROTECTIVE GLASS

MUHAMMAD FAISAL

NIM. 11555102841

*Department of Electrical Engineering
Faculty of Science and Technology
State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru*

ABSTRACT

Photovoltaic (PV) systems are able to convert solar energy into electrical power, but not all solar energy is able to be converted to electricity efficiently. this is due to a decrease in efficiency due to increasing PV cell temperatures. To overcome the decrease in efficiency, this study proposes a photovoltaic-thermal (PV/T) combination system to increase electrical power. This study aims to determine the energy performance of the PV/T system by applying tedlar and protective glass, applying tedlar and protective glass as a thermal transfer media and protecting the PV / T system. In this research, the thickness and variation of reservoir wall are assumed. Performance analysis conducted in this study uses comsol 4.3b software which includes electrical power, thermal energy, total efficiency and primary energy saving (PES). The results of the analysis show performance at temperatures of 306.25 K, with electrical power performance of 37,915 W, thermal energy performance of 218,035 W, total efficiency of 82,737%, and PES efficiency of 72.17%. While the use of a PV system obtains a PV cell temperature of 340,757 K, with the acquisition of an electric power of 30,527 W.

Keywords : Photovoltaic Thermal, Comsol, Electric, Thermal, PES



KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr.Wb

Puji syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini. Salawat beserta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan alam, pembawa cahaya bagi kehidupan manusia yakni nabi Muhammad SAW, sebagai seorang sosok pemimpin umat yang patut diteladani bagi seluruh umat yang ada di dunia hingga akhir zaman.

Penulisan Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi. Atas berkat rahmat dan ridho Allah SWT penulis dapat Menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “ Analisis Performa Energi Listrik Sistem *Photovoltaic-Thermal* (PV/T) Dengan Pengaplikasian Tedlar Dan Kaca Pelindung ”.

Sudah menjadi ketentuan bagi setiap mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada program Sarjana S1 di UIN SUSKA Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir. Pada proses pembuatan Tugas Akhir banyak penulis dapatkan masukan yang membantu penulis dalam menyelesaikannya, maka dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, baik itu berupa bantuan moral, materi, atau berupa pikiran yang tidak akan pernah terlupakan. Antara lain kepada:

1. Ibunda tercinta Nazira, ayahanda terhormat Syahrul dan Istri tersayang Dwi Citra Jayati yang telah memberikan semangat, dukungan moril, maupun materiil dan doa kepada penulis.
2. Saudara seperjuangan Muhammad Tommy Apri Putra dan Saudara TED'15 yang telah memberikan saran dan masukan motivasi yang sangat berharga agar dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. DR, H. Akhmad Mujahidin, S.Ag., M.Ag, selaku rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Bapak Dr. H. Surya A. Jamrah, MA selaku Plt. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
5. Ibu Ewi Ismaredah, S. Kom., M.Kom selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau yang telah membuat proses administrasi pada Jurusan Teknik Elektro menjadi lebih baik dan efektif.
6. Ibu Marhama Jelita ,S.Pd., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan banyak waktu serta pemikirannya dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Pada penyelesaiannya,



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

melalui beliau penulis mendapatkan pengetahuan yang sangat berharga, dengan keikhlasan dan kesabaran dalam memberikan penjelasan dari nol hingga penulis menjadi paham sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

7. Susi Afriani, S.T., M. T. selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran kepada penulis yang sangat membangun terhadap penulisan Tugas Akhir ini.
8. Aulia Ullah, S.T., M.Eng selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran kepada penulis yang sangat membangun terhadap penulisan Tugas Akhir ini.
9. Teman seperjuangan calon S. T TED'15 dan ENERGY'15 yang telah memberikan dorongan, membantu, menemani dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Serta seluruh pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam melaksanakan hingga menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Atas jasa-jasa yang telah diberikan kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini mampu diselesaikan sesuai prosedur yang berlaku di Jurusan Teknik Elektro. Tanpa bantuan dan dorongan yang diberikan, penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini, oleh sebab itu penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah meluangkan waktunya, hanya Allah SWT yang mampu membalas niat baik dan keikhlasan dengan sempurna. Semoga dengan keikhlasan mendapat balasan dari Allah SWT Penulis mengharapkan dengan adanya Tugas Akhir ini mampu memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Pada penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, karena kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT dan kekurangan datang dari penulis. Dalam hal ini penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan dan jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan ilmu, pengalaman dan pengetahuan penulis dalam proses pembuatan Tugas Akhir ini, maka dari itu untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini penulis mengharapkan kritikan dan saran kepada semua pihak yang sifatnya membangun.

Pekanbaru, 21 Oktober 2019

Muhammad Faisal



DAFTAR ISI

HALAMAN COVER	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR GRAFIK	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR RUMUS	xviii
DAFTAR LAMBANG	xix
DAFTAR SIMBOL	xx
BAB I : PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1-1
1.2 Rumusan Masalah	1-4
1.3 Tujuan Penelitian	1-4
1.4 Batasan Masalah	1-4
1.5 Manfaat Penelitian	1-5
BAB II: TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Energi Matahari	II-3
2.3 Perpindahan Panas	II-4



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.3.1	Perpindahan Panas Konduksi.....	II-4
2.3.2	Perpindahan Panas Konveksi.....	II-4
2.3.3	Radiasi.....	II-7
2.4	<i>Photovoltaic</i> (PV)	II-8
2.4.1	Karakteristik PV.....	II-8
2.4.2	Faktor Pengaruh Kinerja PV	II-9
2.4.3	Jenis PV	II-10
2.5	Sistem <i>Thermal</i>	II-13
2.6	<i>Photovoltaic-Thermal</i> (PV/T).....	II-13
2.6.1	Fluida PV/T.....	II-13
2.6.2	Tedlar	II-14
2.6.3	Persamaan Matematis PV/T.....	II-15
2.7	Persamaan Temperatur Sel PV	II-16
2.8	Analisis Performa Sistem PV/T	II-16
2.8.1	Analisis Daya Listrik	II-16
2.8.2	Analisis Energi <i>Thermal</i>	II-17
2.8.3	Efisiensi Energi Total Sistem PV/T.....	II-18
2.8.4	Efisiensi <i>Primary Energy Saving</i> (PES)	II-18
2.9	Penyelesaian Model Matematis	II-19
2.9.1	Metode Numerik	II-19
2.9.2	Metode Analitis	II-20
2.10	Simulasi.....	II-20
2.11	Comsol Multi-Fisika 4.3b	II-20

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Diagram Alur Penelitian	III-1
3.2	Tahap Perencanaan	III-2
3.2.1	Identifikasi Masalah.....	III-3
3.2.2	Rumusan Masalah.....	III-3
3.2.3	Membuat Tujuan.....	III-3
3.3	Studi Literatur	III-3
3.4	Pengumpulan Data	III-3
3.4.1	Model Sistem	III-4



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.4.2 Data	III-5
3.4.3 Properti Material Sistem	III-5
3.5 Temperatur Sel PV	III-6
3.5.1 Melakukan prosesan Awal	III-7
3.5.2 Perhitungan Numerik	III-10
3.5.3 Prosesan Akhir	III-10
3.6 Analisis <i>Photovoltaic</i>	III-10
3.7 Sistem <i>Photovoltaic-Thermal</i>	III-10
3.8 Analisis Performa	III-11
3.8.1 Daya Listrik	III-11
3.8.2 Energi <i>Thermal</i>	III-11
3.8.3 Efisiensi Total dan PES	III-11

BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data	IV-1
4.1.1 Model Sistem PV/T	IV-1
4.1.2 Data Sekunder	IV-2
4.1.3 Sifat Material	IV-3
4.2 Validasi PV/T	IV-2
4.2.1 Validasi Sistem PV/T	IV-3
4.2.2 Validasi Sistem PV	IV-4
4.3 Analisis Profil Kecepatan Aliran dan Profil Temperatur Pada PV/T	IV-6
4.3.1 Analisis Profil Kecepatan Aliran	IV-6
4.3.2 Analisis Profil Temperatur	IV-10
4.4 Analisis Energi Pada Sistem PV/T	IV-15
4.4.1 Temperatur Sel PV pada Sistem PV/T	IV-15
4.4.2 Analisis Temperatur Sel PV pada Sistem PV/T	IV-17
4.4.3 Efisiensi Energi Listrik PV/T	IV-19
4.4.4 Analisis Efisiensi Listrik PV/T	IV-21
4.4.5 Daya Listrik <i>Photovoltaic-thermal</i>	IV-22
4.4.6 Analisis Daya Listrik <i>Photovoltaic-thermal</i>	IV-25
4.4.7 Temperatur Energi <i>Thermal</i> PV/T	IV-25
4.4.8 Analisis Temperatur Energi <i>Thermal</i> PV/T	IV-28



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4.4.9 Energi <i>Thermal</i> Sistem PV/T.....	IV-39
4.4.10 Analisis Energi <i>Thermal</i> Sistem PV/T.....	IV_32
4.4.11 Efisiensi Energi <i>Thermal</i>	IV-33
4.4.12 Analisis Efisiensi Energi <i>Thermal</i>	IV-35
4.5 Efisiensi Energi Total.....	IV-36
4.6 Analisis Efisiensi Energi Total.....	IV-38
4.7 Efisiensi <i>Primary Energy Saving</i> (PES).....	IV-39
4.8 Analisis Efisiensi <i>Primary Energy Saving</i> (PES)	IV-41
4.9 Analisis Sistem PV/T Pengaplikasian Tedlar dan Kaca Pelindung ...	IV- 42
4.10 Analisis Performa Energi Sistem PV/T	IV-43
4.10.1 Performa Daya Listrik.....	IV- 43
4.10.2 Performa Energi <i>Thermal</i>	IV-43
4.10.3 Performa Efisiensi Total dan PES.....	IV-43
4.11 Analisis Sistem PV dan PV/T dengan pengaplikasian Tedlar dan Kaca Pelindung.....	IV- 44

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	V-1
5.2 Saran	V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Konduksi	II-4
2.2 Konveksi	II-6
2.3 Radiasi.....	II-8
2.4 <i>Monocrystalline silicon</i>	II-10
2.5 <i>Polycrystalline Silicon</i>	II-11
2.6 <i>Amorphous/Thin Film</i>	II -11
2.7 <i>Thin Film Photovoltaic</i>	II-12
2.8 Alur Pemanfaatan Energi Matahari.....	II-13
3.1 Diagram Alur Penelitian	II-2
3.2 Diagram Alur Simulasi	III-6
3.3 <i>Spec dimension</i>	III-7
3.4 Sub Model <i>Heat Transfer</i>	III-7
3.5 Kolom Tabel Parameter	III-18
3.6 Model Geometri PV/T pada Comsol.....	III-8
3.7 <i>Selection Material PV/T</i>	III-9
3.8 Jaring-Jaring (<i>Mest</i>)	III-9
4.1 Desain Model PV/T	IV-1
4.2 Model Validasi	IV-4
4.3 Simulasi Validasi.....	IV-4
4.4 Temperatur <i>Photovoltaic</i>	IV- 5
4.5 Profil Kecepatan Aliran Material Aluminium.....	IV-7
4.6 Profil Kecepatan Aliran Material Perak	IV-8
4.7 Profil Kecepatan Aliran Material Tembaga.....	IV-9
4.8 Profil Kecepatan Aliran Material Titanium.....	IV-10
4.9 Profil Temperatur Material Tembaga	IV-713
4.10. Profil Temperatur Material Titanium.....	IV-13

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR GRAFIK

Grafik

Halaman

4.1	Temperatur Sel PV Material <i>Reservoir Wall</i> Tembaga	IV-16
4.2	Temperatur Sel PV Material <i>Reservoir Wall</i> Titanium	IV-17
4.3	Efisiensi Listrik Material Tembaga.....	IV-20
4.4	Efisiensi Listrik Material Titanium	IV-21
4.5	Energi Listrik Tembaga.....	IV-23
4.6	Energi Listrik Titanium.....	IV-24
4.7	Temperatur Energi <i>Thermal</i> Tembaga	IV-26
4.8	Temperatur Energi <i>Thermal</i> Titanium	IV-28
4.9	Energi <i>Thermal</i> Material Tembaga	IV-30
4.10	Energi <i>Thermal</i> Material Titanium	IV-31
4.11	Efisiensi Energi <i>Thermal</i> Tembaga.....	IV-34
4.12	Efisiensi Energi <i>Thermal</i> Titanium.....	IV-35
4.13	Efisiensi Energi Total Tembaga.....	IV-37
4.14	Efisiensi Energi Total Titanium	IV-38
4.15	Efisiensi <i>Primary Energy Saving</i> Tembaga	IV-40
4.16	Efisiensi <i>Primary Energy Saving</i> Titanium	IV-41

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
4.1 Kecepatan Aliran Laminar	IV-2
4.2 Data PV/T	IV-3
4.3 Sifat Material PV/T	IV-3
4.4 <i>Photovoltaic</i>	IV-5
4.5 Profil Temperatur Sel PV	IV-18
4.6 Efisiensi Listrik PV/T	IV-21
4.7 Daya Listrik PV/T	IV-25
4.8 Temperatur Energi <i>Thermal</i>	IV-28
4.9 Energi <i>Thermal</i>	IV-32
4.10 Efisiensi Energi <i>Thermal</i>	IV-35
4.11 Efisiensi Energi Total	IV-38
4.12 Efisiensi PES	IV-41
4.13 Efisiensi Sel PV dan PV/T	IV-42

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR RUMUS

Rumus	Halaman
2.1 Perpindahan Secara konduksi	II-4
2.2 Perpindahan Secara Konveksi.....	II-5
2.3 Bilangan Reynold.....	II-5
2.4 Bilangan Nusselt	II-5
2.5 Bilangan Prandtl.....	II-7
2.6 Perpindahan Panas	II-15
2.7 Konveksi PV/T	II-15
2.8 Momentum	II-15
2.9 Termodinamika	II-15
2.10 Konduksi Konveksi.....	II-15
2.11 Temperatur PV	II-16
2.12 Efisiensi <i>Photovoltaic</i>	II-16
2.13 Daya Listrik <i>Photovoltaic</i>	II-16
2.14 Daya Listrik Harian.....	II-17
2.15 Daya Listrik Bulanan	II-17
2.16 Daya Listrik Tahunan.....	II-17
2.17 Energi <i>Thermal</i>	II-17
2.18 Laju Aliran	II-17
2.19 Efisiensi Energi <i>Thermal</i>	II-17
2.20 Efisiensi Energi <i>Thermal</i> Harian.....	II-17
2.21 Energi <i>Thermal</i> Bulanan	II-17
2.22 Energi <i>Thermal</i> Tahunan.....	II-18
2.23 Efisiensi Total PV/T.....	II-18
2.24 Efisiensi <i>Primary Energy Saving</i>	II-18



DAFTAR LAMBANG

q	= Laju Perpindahan Panas (Watt)
K	= Konduktivitas <i>Thermal</i> (W/m.K)
A	= Luas Penampang (m^2)
T	= Temperatur (K)
V	= Kecepatan Aliran Fluida Air (m/s)
d	= Diameter (m)
L	= Panjang (m)
C	= Panas Jenis Tekanan Konstan (J/Kg.K)
G	= Intensitas Matahari (Wm^2/m)
Q_{th}	= Energi <i>Thermal</i> (J/s)
Re	= Bilangan Reynold
Nu	= Bilangan Nusselt
Pr	= Bilangan Prandtl

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR SIMBOL

ρ = Massa Jenis (Kg/m^3)
 μ = Viskositas Fluida (Kg/m.s)
 β_{ref} = Koefisien *Thermal Monocrystalline*
 ∇ = Perpindahan Panas
 \dot{m} = Laju Aliran Massa Fluida (Kg/s)
 η_{ref} = Efisiensi Listrik *Monocrystalline*
 η_{tot} = Efisiensi Sel *Photovoltaic*
 η_{pv} = Efisiensi Total
 η_{th} = Efisiensi *Thermal*
 $\eta_{Lis,con}$ = Efisiensi Listrik Konvensional
 η_{PES} = Efisiensi *Primary Energy Saving*

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diararang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemakaian energi merupakan bagian dari kebutuhan dalam kegiatan aktivitas kehidupan manusia. Pada tahun 2014 pemakaian energi di Indonesia pada seluruh sektor mencapai 1.015 juta SBM, yang terdiri dari sektor industri 487 juta SBM, transportasi 355 juta SBM, rumah tangga 106 juta SBM, komersial 40 juta SBM dan sektor lainnya sebesar 21 juta SBM[1]. kebutuhan akan pemakaian energi semakin meningkat, peningkatan terutama terjadi pada negara-negara industri yang mencapai hingga 70% antara tahun 2000 hingga tahun 2030[2].

Meningkatnya kebutuhan energi tidak lepas dari penggunaan pemakaian kebutuhan energi, sehingga peningkatan kebutuhan energi dipengaruhi oleh tingkat jumlah populasi penduduk, salah satunya terjadi pada energi listrik. Untuk Indonesia sendiri pada tahun 2012-2016 mengalami peningkatan populasi penduduk sebesar 13.279.800 jiwa, dengan kebutuhan pemakaian energi listrik sebesar 5.312.706 MWh[3].

Dalam memenuhi kebutuhan akan energi listrik, penggunaan sumber energi di Indonesia masih didominasi oleh energi fosil, pada tahun 2017 pemakaian energi fosil sebagai bahan baku utama penghasil listrik mencapai lebih dari 75%, yang mana terdiri dari batu bara sebesar 26,64 %, minyak bumi 30,52%, dan gas 16,92%[4]. Ini merupakan suatu bentuk yang harus memiliki perhatian lebih dari pemerintah mengingat energi fosil memiliki persediaan yang terbatas.

Persediaan energi fosil yang terbatas dengan terus menerus mengalami penurunan akibat pemakaian, maka diperkirakan persediaan energi fosil di dunia akan habis dalam kurun waktu yang singkat. Untuk energi fosil berupa minyak diperkirakan habis dalam 23 tahun ke depan, gas kurun waktu 62 tahun ke depan, sedangkan batu bara 146 tahun ke depan tidak akan tersedia lagi. Untuk Indonesia sendiri diperkirakan pada kurun waktu 18 tahun ke depan (minyak dan gas bumi) persediaan akan habis[2]. Dengan terbatasnya persediaan energi fosil dan untuk mengatasi akan kebutuhan energi maka solusi terbaik dengan cara energi terbarukan. Energi terbarukan ialah energi yang tersedia secara berkelanjutan yang tidak terbatas akan kesediaannya.



Energi matahari merupakan salah satu di antara sumber energi terbarukan yang tersedia di alam, yang mana memanfaatkan radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi berupa, cahaya matahari yang dapat dijadikan energi listrik. Energi ini adalah energi terbarukan yang keberadaannya melimpah, dan memiliki keunggulan tersendiri berupa ramah lingkungan, tidak memproduksi polutan dalam operasi, tidak menimbulkan suara (hening) dan memiliki sumber daya yang tidak terbatas.

Indonesia secara geografi merupakan negara yang beriklim tropis yang cukup berpotensi pemanfaatan energi matahari untuk dijadikan energi listrik, karena Indonesia terletak antara 6⁰LU sampai 11⁰LS dan 95⁰BT sampai 141⁰BB, antara Samudera Pasifik dan Samudera Hindia, antara Benua Asia dan Benua Australia, dan antara pertemuan dua rangkaian pegunungan, Sirkum Pasifik dan Sirkum Mediterania. Posisi letak geografis yang demikian menempatkan Indonesia berada pada posisi silang yang strategis di bawah garis khatulistiwa yang panasnya merata sepanjang tahun dengan pancaran potensi matahari rata-rata sebesar 4,8 kWh/m²/hari[5].

Energi matahari yang dipancarkan ke bumi berupa cahaya dapat dimanfaatkan dengan menggunakan alat berupa *photovoltaic* (PV), yang mampu menerima dan mengkonversi menjadi energi listrik secara langsung. Prinsip dasar konversi energi matahari menjadi energi listrik terjadi pada saat PV menyerap cahaya sinar matahari yang mengandung gelombang elektromagnetik atau energi foton, energi foton pada cahaya matahari menghasilkan energi kinetik yang mampu melepaskan elektron-elektron ke pita konduksi sehingga menimbulkan arus listrik[2]. Namun efisiensi arus listrik PV yang dihasilkan masih belum optimal dengan *Range* Perolehan efisiensi sebesar 12 -18 %, dan lebih dari 80 % radiasi matahari yang diterima PV tidak dapat dikonversikan ke energi listrik melainkan menjadi energi panas[6].

Pancaran sinar matahari secara langsung pada PV dengan terus menerus mengakibatkan terjadinya peningkatan temperatur kerja sel PV, sehingga PV akan mengalami penurunan nilai efisiensi listrik yang disebabkan oleh adanya panas pada PV. Perolehan nilai efisiensi PV sangat dipengaruhi oleh jenis panel PV, pada jenis PV *Monocrystalline* yang memiliki nilai efisiensi baik yang mencapai 15%, pada setiap mengalami peningkatan temperatur di atas 25⁰C, maksimum terjadinya penurunan efisiensi sebesar 0.48 % [7].

Pada kajian pengujian *Photovoltaic* di kampus FT Untirta menggunakan *Monocrystalline* yang berkapasitas 100 Wp dengan dimensi 1,02 m x 0,67 m, memperoleh



daya listrik optimal sebesar $1.31 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$, dengan daya listrik rata-rata 0.69 kWh/m^2 , yang memiliki efektivitas produksi daya listrik 52.4%[8]. Perolehan daya listrik dari pengujian jauh lebih kecil dari potensi energi matahari di Indonesia yang dinyatakan EBTKE 2018 sebesar $4.8 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ [7].

Pemanfaatan energi matahari maksimal pada PV dapat menggunakan sistem *photovoltaic-Thermal* (PV/T). PV/T merupakan integrasi modul PV dan sistem *thermal* pada suatu teknologi yang dapat memanfaatkan dua energi secara bersamaan yaitu berupa energi listrik dan energi *thermal*[9]. Dengan perkembangan teknologi, pemanfaatan energi matahari dengan *photovoltaic* dan sistem *thermal* telah berkembang menjadi bagian elemen arsitektur yang dapat berintegrasi dengan bangunan, pada bangunan yang tinggi telah mampu menggantikan penggunaan elemen atap dan *fasade* dengan pemasangan PV/T[10]. Penggunaan kombinasi sistem *thermal* pada PV dapat meningkatkan Perolehan efisiensi energi listrik dari panel PV yang disebabkan adanya penyerapan *thermal* yang terjadi pada permukaan PV, sehingga dapat menurunkan temperatur PV yang dapat mengoptimalkan efisiensi listrik, dan di samping itu, energi *thermal* yang diserap oleh kolektor dapat dimanfaatkan menjadi penghangat ruangan, pemanas air dan lain-lain[9].

Sebagaimana berdasarkan penelitian[11] penurunan efisiensi PV yang disebabkan oleh kenaikan temperatur. Dapat diatasi dengan kombinasi PV/T, dengan menggunakan jenis sel *Monocrystalline*, aliran fluida pada sistem *thermal* berupa air dan dengan variasi kecepatan aliran serta ketebalan saluran aliran (waduk). Maka diperoleh efisiensi PV tertinggi sebesar 95.7 % dengan ketebalan 0.015 m, dan kecepatan aliran 0.01 m/s, Perolehan PV tertinggi didapatkan secara tidak realistis, yang disebabkan oleh asumsi konservatif dan sensitivitas ekstrem efisiensi *thermal* terhadap perubahan suhu pada kecepatan aliran air yang tinggi. Sedangkan dari konfigurasi efisiensi total yang paling efisiensi tercatat sebesar 27.5 %, yang terdiri dari ketebalan saluran aliran 0.005 m, dan kecepatan aliran masuk 0.005 m/s.

Berdasarkan permasalahan yang di kemukakan di atas, tentang penurunan efisiensi PV yang disebabkan oleh meningkatnya temperatur pada permukaan PV, maka penulis tertarik untuk mengembangkan/memperluas penelitian[11], dengan melakukan analisis performa energi sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung, dan dilakukan analisis energi listrik PV tanpa menggunakan sistem *thermal*. Analisis yang dilakukan pada sistem PV/T dalam penelitian ini meliputi dari daya listrik, energi *thermal*, efisiensi total dan Efisiensi *primary energy saving* (PES).



Dalam analisis penelitian ini dilakukan variasi material *reservoir wall* (Alumunium, perak, tembaga, dan titanium) pada sistem *thermal*, ketebalan *reservoir wall* dan nilai kecepatan aliran fluida masuk pada sistem *thermal*. Pada model sistem PV/T juga menggunakan pemodelan terbaru yang terdapat pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung, dan pada sistem PV/T dalam penelitian ini menggunakan jenis PV *Monocrystalline* yang memiliki efisiensi listrik 13 % dengan koefisien *thermal* sebesar 0.54 %[11].

Penggunaan tedlar pada sistem PV/T bertujuan untuk melindungi PV dari suhu dan kelembaban *ekstrem*. Penggunaan tedlar pada sistem memiliki pengaruh ketahanan yang sangat baik terhadap konduktivitas penyerap *thermal*, ini adalah sejenis bahan polimer yang berguna untuk mencegah masuknya uap air, sebagai resistansi UV, dan daya tahan terhadap pelapukan isolasi listrik. Sehingga penggunaan tedlar pada sistem PV/T dapat membantu PV/T dalam waktu penggunaan yang lama[12], dan penggunaan kaca pelindung pada penelitian ini selain untuk melindungi PV/T terhadap debu, juga dapat membuat jangka waktu PV/T lebih lama, kaca pelindung memiliki sifat yang tahan panas, serta tidak dapat memantulkan sinar cahaya matahari[13]. Penggunaan tedlar dan kaca pelindung merupakan pemodelan terbaru dari sistem PV/T.

Dalam analisis energi listrik pada sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung dilakukan dalam perangkat lunak simulasi. Dari simulasi memperoleh profil aliran temperatur dan profil kecepatan aliran temperatur, yang mana dapat digunakan untuk melakukan analisis energi yang di hasilkan sistem PV/T baik energi listrik, energi *thermal*, Efisiensi total dan PES.

Dari permasalahan di atas penulis akan mengkaji performa dari sistem PV/T pada pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung dengan menggunakan standar penelitian[11]. Pada analisis performa sistem PV/T, tahap awal yang dilakukan adalah menganalisis temperatur sel dan kecepatan aliran temperatur dengan menggunakan peranti lunak comsol 4.3b. Penggunaan comsol 4.3b mampu menghubungkan (*couple*) sepenuhnya secara serentak antara model aliran fluida, massa, transportasi panas, serta menyediakan dasar untuk memodelkan berbagai fenomena ilmiah dan rekayasa[14]. Dari analisis sistem PV/T akan dihasilkan performa daya listrik, energi *thermal*, efisiensi total dan PES, dengan demikian dapat dilakukan bandingan Perolehan energi antara sistem PV dan PV/T. Berdasarkan paparan di atas maka penulis menetapkan judul penelitian ini berupa “Analisis Performa Energi Listrik Sistem PV/T Dengan Pengaplikasian Tedlar Dan Kaca Pelindung”.



1.2

Rumusan Masalah

Adapun Rumusan masalah dalam penelitian ini berupa :

1. Bagaimana menganalisis performa daya listrik pada sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung?
2. Bagaimana menganalisis performa energi *thermal* pada sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung?
3. Bagaimana analisis efisiensi total dan *primary energy saving* pada sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung ?

1.3

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini berupa :

1. Menganalisis performa daya listrik pada sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung.
2. Menganalisis performa energi *thermal* pada sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung.
3. Menganalisis efisiensi total dan *primary energy saving* pada sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung.

1.4

Batasan Masalah

Dalam penelitian ini agar tidak melebar dari pembahasan maka penulis membatasi permasalahan, adapun batasan masalah sebagai berikut :

1. Aliran fluida pada *reservoir wall* dianggap laminar dan keadaan *steady (stationary)*.
2. Mengabaikan pengaruh eksternal pada PV/T seperti partikel, debu dan lain-lain yang dapat mengganggu proses penyerapan radiasi matahari.
3. Pemodelan sistem PV/T menggunakan peranti lunak comsol 4.3b.
4. Nilai parameter berupa temperatur *inlet*, radiasi matahari, kecepatan angin, pada simulasi comsol 4.3b sebesar 298 K, 1.000 W/m², dan 1 m/s.
5. *Angle* dari sistem PV/T di abaikan.
6. Variabel analisis pada sistem PV/T meliputi: daya listrik, energi *thermal*, efisiensi total dan efisiensi *Primary energy saving*.
7. Pada penelitian ini tidak memperhitungkan pembangkit listrik tenaga surya dan panjangnya umur pemakaian sistem PV/T.



1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Dapat mengaplikasikan peranti lunak comsol pada penelitian untuk kehidupan yang nyata sebagai alat untuk menganalisa perpindahan panas.
2. Sebagai bahan referensi bagi pihak yang membutuhkan.
3. Dapat menghimbau masyarakat di daerah tentang pemakaian energi listrik PV/T untuk ke depannya, sehingga dapat meningkatkan pemakaian energi terbarukan.



UIN SUSKA RIAU



2.1 Penelitian Terkait

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan pencarian teori serta referensi dari berbagai sumber yang relevan dengan kasus dan permasalahan yang akan diselesaikan berdasarkan penelitian terkait. Referensi teori terkait didapatkan dari berbagai sumber seperti jurnal, artikel, blog, buku elektronik dan sumber lainnya yang berkenaan dengan sistem PV/T, dengan tujuan untuk mengetahui Perolehan energi yang mampu dihasilkan sistem PV/T. Berikut ini disajikan beberapa penelitian terdahulu yang merupakan, referensi teori terkait penelitian.

Desain *hybrid* panel surya tipe *Monocrystalline* dan *thermal* kolektor fluida air. Penelitian bertujuan mendesain dan menguji *hybrid* panel surya tipe *Monocrystalline* daya 60 Wh pada laju aliran fluida 0.027 kg/s. Hasil dari penelitian ini berupa meningkatkan efisiensi elektrik pada *Hybrid* Panel surya, Perolehan arus listrik yang dihasilkan lebih besar dengan sistem PV/T dibandingkan PV, sementara tegangan listrik cenderung tetap. Efisiensi elektrik maksimum PV/T yang dihasilkan sebesar 18.87 % dengan suhu air panas sekitar 49°C, sementara pada PV 10.89 %. Terdapat peningkatan sekitar 8 % yang menunjukkan hasil yang signifikan[13].

Implementasi *water cooling system* untuk menurunkan *temperature losses* Pada Panel surya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penggunaan *water cooling system* pada panel surya, hasil dari penelitian yang dilakukan berupa terdapatnya peningkatan efisiensi pada panel surya dengan adanya *water cooling system*, sehingga efisiensi yang diperoleh dalam penelitian sebesar 3 %, yang memiliki daya *output* 14 Watt, sedangkan tanpa menggunakan *water cooling system* memperoleh daya *output* sebesar 13.61 Watt[15].

Analisis dan permodelan efek laju aliran fluida pada *hybrid* solar *photovoltaic-thermal* panel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek laju aliran fluida pada *hybrid* solar *photovoltaic-thermal* panel, penelitian yang dilakukan pada sistem *hybrid* PV/T dengan menggunakan simulasi *software* Comsol *Multiphysics* yang dilakukan dengan lima level fluk radiasi : 309.63 W/m², 409.63 W/m², 535.50 W/m², 634.25 W/m² dan 658 W/m², terhadap variasi laju aliran massa pendingin dalam rentang 0.011-0.041

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA



m/s. Sehingga diperoleh efisiensi listrik tertinggi sebesar 11.46 %, di bawah level fluk radiasi 313.63 W/m² dan efisiensi *thermal* tertinggi diperoleh sebesar 25.83 % di bawah level fluk radiasi 535.50 W/m²[16].

Dipo PV *cooler*, penggunaan sistem pendingin temperatur *heat sink fan* pada panel sel surya (*photovoltaic*) sebagai peningkatan kerja energi listrik baru terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk pembuatan pendingin panel surya dengan menggunakan *heat sink fan*, hasil dari penelitian yang dilakukan bahwasanya dengan menggunakan penggunaan *heat sink fan* memperoleh tegangan keluaran sebesar 19.11 volt, dan tanpa menggunakan *heat sink fan* menghasilkan tegangan sebesar 18.80 volt, sehingga dengan menggunakan pendingin *heat sink fan* mengalami penurunan rata-rata suhu sebesar 28.20 %, dan energi listrik meningkat sebesar 1.64 % dari efisiensi panel surya sebesar 12.1% [17].

Modeling a combined photovoltaic/thermal (PV/T) solar panel, tujuan dari pemodelan solar PV/T untuk meningkatkan efisiensi *thermal* dan listrik dengan memvariasikan laju aliran fluida dan ketebalan *reservoir wall*. Analisis desain panel surya PV/T dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Comsol *Multiphysic*. hasil penelitian yang di dapat bahwa efisiensi tertinggi sel sebesar 95.7 % di mana ketebalan waduk *reservoir wall* 0.015 mm dan kecepatan aliran fluida masuk 0.01 m/s. sedangkan efisiensi energi total yang diperoleh dari konfigurasi tercatat sebesar 27.5 %, pada ketebalan waduk *reservoir wall* 0.005 mm, dan kecepatan aliran fluida masuk 0.005 m/s, untuk efisiensi sel PV didapatkan tidak realistis, yang disebabkan oleh asumsi konservatif dan sensitivitas ekstrem dari efisiensi *thermal* terhadap perubahan suhu pada kecepatan aliran air yang tinggi. Yang artinya, bahwa pada kecepatan aliran tinggi, sedikit perubahan suhu menghasilkan perbedaan drastis dalam efisiensi *thermal*[11].

Berdasarkan referensi dari penelitian terdahulu, terdapat percobaan eksperimen yang dilakukan pada penelitian [13],[15],[17] dan simulasi pada [11] dan[16]. Berdasarkan penelitian yang terkait[11], terdapat perbedaan dari penelitian terdahulu yang mana menggunakan pemodelan yang terbaru dari sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung, yang dilakukan secara simulasi dengan variasikan material *reservoir wall*, ketebalan *reservoir wall* dan laju aliran kecepatan fluida pada peranti lunak comsol.

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian[11] dengan melakukan kajian analisis performa sistem PV/T. Keunggulan penelitian ini terhadap penelitian sebelumnya[11] terdapat pada penggunaan *evilen vinil asetad* (EVA), pengaplikasian



tedlar dan kaca pelindung, dengan melakukan variasi material *reservoir wall* (aluminium, perak, tembaga, titanium), dan variasi ketebalan *reservoir wall*.

Untuk mendapatkan performa energi pada sistem PV/T, maka digunakan peranti lunak comsol, dari hasil simulasi memperoleh nilai profil temperatur dan profil kecepatan aliran yang digunakan untuk menganalisis Perolehan energi yang mampu dihasilkan oleh sistem PV/T. Dengan demikian berdasarkan paparan di atas, maka penelitian ini layak penulis lakukan.

2.2 Energi Matahari

Matahari merupakan bola dari awan gas dengan suhu yang sangat panas berdiameter 1.39×10^9 km, dengan jarak ke bumi rata-rata 1.5×10^{11} km. Matahari berputar pada porosnya dengan sekali putaran dalam empat Minggu, karena matahari terdiri dari kumpulan awan gas dan tidak *solid* maka bagian Ekuatorial berputar sekali dalam 27 hari sedangkan kutub-kutubnya berputar sekali dalam 30 hari. Suhu efektif pada permukaan matahari sebesar 5.760 K. sedangkan pada inti matahari memiliki temperatur mencapai lebih kurang 8×10^6 sampai dengan 40×10^6 [18].

Suatu teori yang akhir-akhir ini dapat diterima para ahli mengatakan bahwa radiasi gelombang *elektromagnetik* merupakan kombinasi dari gelombang elektrik arus bolak-balik berkecepatan tinggi dengan gelombang medan magnet yang menumbuhkan partikel-partikel energi dalam bentuk foton. Gelombang energi yang memancar melalui ruang angkasa memberikan pancaran radiasi dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. Radiasi gelombang elektromagnetik dikelompokkan pada panjang gelombang yang memberikan rangsangan energi yang lebih besar di mana semakin pendek panjang gelombangnya semakin besar energinya. Radiasi yang dipancarkan melalui permukaan matahari mempunyai variasi panjang gelombang dari yang paling panjang (gelombang radiasi) sampai yang paling pendek (gelombang sinar X dan sinar gama).

Matahari memancarkan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik, sedangkan radiasi tersebut hanya sekitar 50 % yang dapat diserap oleh bumi. Menurut pengukuran yang dilakukan oleh badan luar angkasa Amerika Serikat NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) melalui misi ruang angkasanya pada tahun 1971, diperoleh data tentang besaran konstanta matahari yang nilainya sama dengan 1.353 Watt/m^2 . Dari besaran tersebut 7.85 % atau 105.8 Watt/m^2 dipancarkan melalui sinar *ultraviolet*, 47.33 % atau 640.4 Watt/m^2 dipancarkan oleh sinar yang dapat dilihat oleh manusia dan 44.85 %



atau 606.8 Watt/m^2 dipancarkan oleh sinar infra merah. Pada dasarnya energi radiasi yang dipancarkan oleh sinar matahari mempunyai besaran yang tetap (konstan), namun karena peredaran bumi mengelilingi matahari dalam bentuk *elips*, maka besaran konstanta matahari bervariasi antara 1308 Watt/m^2 dan 1398 Watt/m^2 . Dengan berpedoman pada luas penampang bumi yang menghadap matahari dan yang berputar sepanjang tahun, maka energi yang dapat diserap oleh bumi sebesar $751 \times 10 \text{ kW/jam}$ [19].

2.3 Perpindahan Panas

Dalam pemanfaatan energi perlu diketahui semua jenis perpindahan energi panas yang terjadi. Untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan jenis perpindahan energi di bawah ini.

2.3.1 Perpindahan Secara Konduksi

Perpindahan panas konduksi merupakan perpindahan panas yang terjadi tanpa disertai dengan perpindahan zat perantara. Perpindahan panas secara konduksi dapat dinyatakan dengan Hukum Fourier.

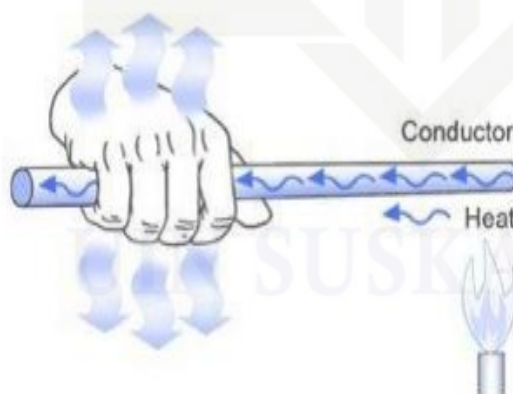
$$q = -kA\left(\frac{dT}{dx}\right) (\text{watt}) \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

q = Laju perpindahan panas (watt)

k = Konduktivitas *Thermal*(W/ m.K)

A = Luas penampang(m^2) [7]



Gambar 2.1 Perpindahan Panas Konduksi[20]

2.3.2 Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan panas yang terjadi melalui suatu aliran yang mana zat perantara ikut berpindah yang terjadi pada zat cair dan gas. Terdapat dua konveksi



yaitu konveksi paksa dan alami, apabila aliran disebabkan oleh *blower* maka disebut konveksi paksa dan bila disebabkan oleh gradien massa jenis maka disebut konveksi alamiah. Pada umumnya laju perpindahan panas dapat dinyatakan dengan persamaan 2.2 sebagai berikut.

$$q = hA(T_w - T) \text{ watt} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan

h = Koefisien konveksi ($6.5 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$)

A = Luas permukaan (m^2)

T = Temperatur fluida (K)

q = Laju perpindahan panas (W)

Dalam sistem PV/T terdapat aliran fluida yang mengalir dengan memiliki tingkat kecepatan aliran, kecepatan aliran yang mengalir pada sistem dapat di kategori menjadi dua, yaitu turbulen dan laminar. Berdasarkan dari pengaruh panas surya dalam aliran sistem PV/T, maka dapat diketahui tingkat laju jenis aliran pada PV/T dengan menggunakan persamaan bilangan reynold (Re) yaitu bilangan tidak berdimensi.

Bilangan Reynold berkisar antara 2.000 sampai 10.000, pada aliran turbulen memiliki nilai bilangan Re di atas 2.300 dan di bawah 2.300 untuk aliran laminar. Adapun persamaan 2.3 bilangan Reynold sebagai berikut[20] :

$$Re = \frac{v.D.\rho}{\mu} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

Re = Bilangan Reynold

V = Laju Fluida (m/s)

d = Diameter Pipa (m)

ρ = Massa Jenis (kg/m^3)

μ =Viskositas Fluida (kg/m.s)

Bilangan Nusselt juga merupakan bilangan tidak berdimensi yang menunjukkan proses perpindahan panas pada dinding pipa atau pada lapisan batas (*boundary layer*). Berikut bentuk persamaan 2.4 bilangan Nusselt[20] :

$$Nu = \frac{hL}{K} \dots\dots\dots (2.4)$$

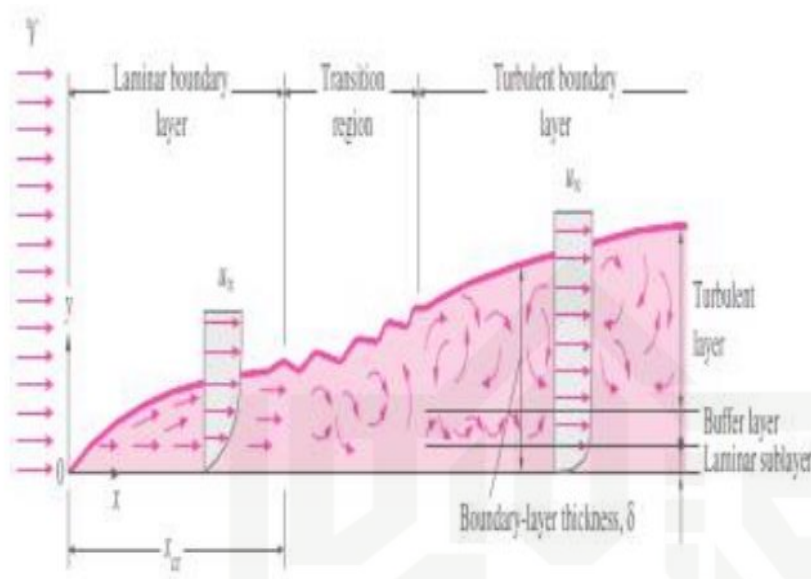
Keterangan:

Nu = bilangan Nusselt

L = panjang karakteristik

k_f = konduktivitas termal fluida

h koefisien pindah panas konvektif



Gambar 2.2 Perpindahan Panas Konveksi Plat Datar[20]

1. Konveksi Alami

Konveksi alamiah terjadi karena fluida mengalami proses pemanasan sehingga berubah densitas (kerapatan) yang bergerak naik. Perpindahan panas dan aliran fluida merupakan dua hal yang berbeda, bagian perpindahan panas menginisiasi aliran fluida karena terdapat perbedaan temperatur dan massa jenis sehingga fluida yang temperaturnya lebih tinggi menjadi lebih ringan, akibatnya fluida akan mengalir dengan sendiri. Aliran fluida yang timbul akan mengakibatkan perpindahan panas dan sebaliknya perpindahan panas akan mengakibatkan aliran fluida. Perpindahan panas dan aliran fluida keduanya saling mempengaruhi, inilah yang disebut konveksi alami.

Aplikasi dari konveksi alami ini di bidang *engineering* cukup luas. Aliran udara di atmosfer dan aliran arus air di biosfer dapat dijelaskan dengan konveksi alami, demikian juga dengan proses kondisi udara (*Air conditioning*), kondensor, pengeringan, solar collector, dan lain-lain[20].

2. Konveksi Paksa

Konveksi paksa adalah konveksi yang terjadi dengan sengaja (dipaksakan). Yang mana molekul fluida yang lebih tinggi temperaturnya mempunyai bobot lebih ringan sehingga akan cenderung naik, dan digantikan oleh molekul fluida lainnya yang bertemperatur lebih rendah dan tentunya bobot yang lebih berat. Seperti, pemanfaatan



paksa yang terjadi pada sistem pendingin mobil, yaitu air diedarkan melalui pipa-pipa air dengan sebuah pompa. Mesin panas yang tidak dikehendaki dibawa oleh sirkulasi air menuju ke radiator, dalam sirip-sirip radiator air hangat diturunkan temperaturnya dengan udara dingin di sekitar radiator yang ditarik oleh kipas angin, air yang dingin kembali diedarkan menuju pipa-pipa air yang bersentuhan dengan blok-blok mesin yang mengalami pemanasan untuk mengulang siklus berikutnya[20].

Pada konveksi paksa terdapat bilangan Reynold, yaitu bilangan tak berdimensi yang mengukur rasio gaya *inertial* dari fluida dengan viskositas yang digunakan untuk menentukan kriteria aliran laminar dan turbulen. Besarnya bilangan Reynold yang terjadi pada suatu aliran dalam pipa dapat menunjukkan apakah profil aliran tersebut laminar atau turbulen.

Bilangan Prandtl yang merupakan perbandingan antara ketebalan lapis batas kecepatan dengan ketebalan lapis batas *thermal*. Bilangan Prandtl memiliki sifat-sifat fluida dan hubungan antara distribusi temperatur dan distribusi kecepatan. Bila bilangan Prandtlnya lebih kecil dari satu, gradien suhu di dekat permukaan lebih landai daripada gradien kecepatan, dan bagi fluida yang bilangan Prandtlnya lebih besar dari pada satu gradien temperaturnya lebih curam dari pada gradien kecepatan. Persamaan prandtl dinyatakan sebagai berikut:

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

Pr = Bilangan Prandtl

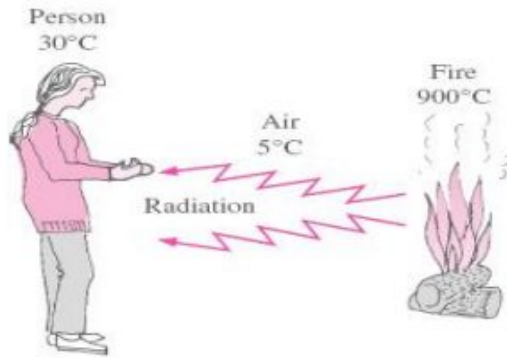
μ = Viskositas Kinematik (m^2/s)

C_p = Panas Jenis Pada Tekanan Konstan (KJ/kg.K)

K = Konduktivitas *Thermal* W/m.K [21].

2.3.3 Radiasi

Radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik (*photon*), dengan memiliki jarak perpindahan yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium. Salah satu contoh perpindahan panas radiasi terdapat pada pengaplikasian kolektor panel surya.



Gambar 2.3 Perpindahan Panas Radiasi[20]

2.4 Photovoltaic (PV)

Photovoltaic atau panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang dapat mengubah intensitas matahari menjadi energi listrik. Matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan, pada umumnya sel PV merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap *photon* dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel yang terbuat dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel PV. Pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0.3 mm, dan memiliki kutub positif dan negatif pada sel yang terdapat sambungan (*function*) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing-masing diketahui sebagai semikonduktor jenis “P” (positif) dan semikonduktor jenis “N” (Negatif).

Silikon jenis P merupakan lapisan permukaan yang dibuat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus secara langsung mencapai *junction*. Bagian katup positif (P) ini diberi lapisan Nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif. Di bawah bagian katup positif (P) terdapat bagian katup negatif (N) yang dilapisi dengan Nikel juga sebagai terminal keluaran negatif[22].

Pada PV menghasilkan energi listrik berupa DC (*Direct Current*) dari memanfaatkan alat yang mengubah sinar matahari menjadi listrik melalui proses aliran-aliran elektron negatif dan positif di dalam sel yang disebabkan oleh perbedaan elektron.

2.4.1 Karakteristik *Photovoltaic*

Karakteristik (tegangan arus) menunjukkan bahwasanya tegangan PV sama dengan nol atau digambarkan sebagai “arus rangkaian pendek” atau *short circuit current* (ISC), yang sebanding dengan radiasi terhadap sel surya dapat diukur.



Nilai ISC akan naik dengan meningkatnya temperatur, meskipun temperatur standar yang tercatat untuk arus rangkaian pendek adalah 25°C . Jika arus PV sama dengan nol, PV digambarkan sebagai rangkaian terbuka, tegangan PV kemudian menjadi tegangan rangkaian terbuka *open circuit voltage* (OCV). Ketergantungan OCV terhadap radiasi bersifat *logarithmic*, dan penurunan yang lebih cepat disertai peningkatan temperatur melebihi kecepatan kenaikan ISC. oleh karena itu, daya maksimum PV dan efisiensi PV menurun dengan peningkatan temperatur pada PV.

Daya dari modul surya dilambangkan dalam watt *peak* (Wp) yang diukur berdasarkan standar pengujian Internasional yaitu *Standard Test Condition* (STC). Standar ini mengacu pada intensitas radiasi sinar matahari sebesar 1.000 W/m^2 yang tegak lurus PV pada temperatur 25°C . PV memiliki hubungan antara arus dan tegangan, pada saat tahanan variabel bernilai tak hingga (*open circuit*) maka arus bernilai minimum (nol) dan tegangan pada sel berada pada nilai maksimum, yang dikenal sebagai tegangan *open circuit* (Voc). Pada keadaan yang lain, ketika tahanan variabel bernilai nol (*short circuit*) maka arus bernilai maksimum, yang dikenal sebagai arus *short circuit* (Isc), jika tahanan variabel memiliki nilai yang bervariasi antara nol dan tak hingga maka arus dan tegangan akan diperoleh nilai yang bervariasi[20].

2.4.2 Faktor Mempengaruhi Kinerja Photovoltaic (PV)

Ada Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja dari PV, adapun faktor yang mempengaruhi kinerja PV adalah sebagai berikut.

1. Jenis PV

Material dasar dalam pembuatan *photovoltaic* memiliki pengaruh terhadap performa energi listrik yang dihasilkan, pemilihan penggunaan jenis *photovoltaic* merupakan faktor utama dalam menghasilkan energi listrik. Adapun bahan pembuat *photovoltaic* berupa, *crystalline cell*, *thin film* dan *multifunction sell*.

2. Hambatan Listrik Beban

Photovoltaic tidak menghasilkan tegangan listrik yang selalu tidak stabil, ini dipengaruhi oleh pancaran radiasi matahari, PV akan maksimal ketika suhu dan awan cerah yang ideal di peroleh pada waktu 10.00-14.00 WIB. Ke tidak stabil tegangan PV maka digunakan alat inverter yang memiliki jarak batas kerja cukup tinggi seperti, mampu bekerja pada jarak batas 150- 800 VDC.



3. Intensitas Cahaya Matahari

Secara proporsional semakin besar intensitas penyinaran matahari, maka kinerja PV semakin tinggi, untuk memaksimalkan Perolehan intensitas matahari pada PV maka peletakan PV harus diperhatikan. Untuk memperoleh intensitas matahari maksimal, untuk lokasi Indonesia dapat dilakukan berdasarkan kaidah berikut :

- a. Pemasangan panel di bawah garis khatulistiwa seperti daerah, Jawa, Madura, NTT, NTB, Sebagian Sumatra, Kalimantan, Sulawesi dan Papua. Maka pemasangan panel condong diarahkan 15° ke arah utara.
- b. Pemasangan panel di atas garis Khatulistiwa seperti daerah, sebagian Sumatra, sebagian Kalimantan, sebagian Sulawesi dan Maluku. Maka pemasangan panel condong diarahkan 15° ke arah selatan.

4. Temperatur PV

Secara ideal PV bekerja pada temperatur standar 25°C , ketika seiring peningkatan temperatur akibat pancaran intensitas matahari, maka efisiensi kinerja PV menurun. Indonesia rata-rata memiliki temperatur sebesar $25\text{-}35^{\circ}\text{C}$, dengan panel mengalami degradasi efisiensi mencapai 10%, untuk mengatasi hal ini maka pemasangan PV harus diperhatikan dengan memberikan ruang yang cukup di bawah PV, sehingga aliran udara dapat menurunkan temperatur PV pada saat temperatur udara tinggi.

5. *Shading* (Bayangan)

Pada peletakan PV harus diperhatikan akan jauh dari objek lain sehingga PV tidak terkena bayangan objek tersebut. Bila di mana salah satu atau lebih sel silikon dari PV tertutup dari sinar matahari, maka akan mempengaruhi pengeluaran daya dari PV. Beberapa jenis PV sangat berpengaruh oleh *shading* seperti pada jenis *polycrystalline*[23].

2.4.3 Jenis *Photovoltaic*

1. *Photovoltaic Monocrystalline silicon*



Gambar 2.4 *Monocrystalline silicon*



Monocrystalline merupakan PV yang memiliki efisiensi yang tinggi dengan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi yaitu hingga 15% efisiensi diperoleh. Adapun kelemahan dari panel ini tidak akan berfungsi baik di tempat cahaya matahari kurang (teduh) yang dapat menyebabkan efisiensi turun drastis[22].

2. Photovoltaic Polycrystalline silicon



Gambar 2.5 Polycrystalline silicon

Photovoltaic polycrystalline memiliki efisiensi lebih rendah dari panel *Monocrystalline*, pada *photovoltaic polycrystalline* merupakan PV yang memiliki susunan kristal acak, dan tipe PV ini memerlukan luas permukaan lebih besar dibandingkan dengan jenis *Monocrystalline* untuk memperoleh daya listrik yang sama, akan tetapi *photovoltaic Monocrystalline* dapat menghasilkan listrik pada saat mendung[22].

3. Photovoltaic Amorphous/Thin Film



Gambar 2.6 Panel Surya Amorphous/ Thin Film

Disebut *Thin Film* karena panel ini sangat murah untuk dibuat. Teknologi *Amorphous* ini sering terdapat pada PV yang kecil, seperti pada kalkulator atau lampu taman[22].



Thin Film Photovoltaic



Gambar 2.7 Thin Film Photovoltaic

Merupakan PV (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis *mikrokristal-silicon* dan *amorphous*, dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar dari pada *Monocrystalline* dan *Polycrystalline*. Inovasi terbaru saat ini adalah *Thin Film Triple Junction* PV (dengan tiga lapisan), dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45 %, lebih tinggi dari panel jenis lain dengan daya yang diterima setara[22].

2.5 Sistem Thermal

Manufaktur proses yang merespons dalam beberapa cara untuk temperatur diklasifikasikan sebagai sistem *thermal*. Dalam aplikasi industri, sistem *thermal* digunakan untuk mengendalikan berbagai proses, dari manufaktur yang kompleks operasi hingga sistem fungsi tunggal yang mengontrol hanya satu proses. Perhatian utama di sini mengarah ke dasar sistem *thermal* yang dapat diterapkan untuk aplikasi apapun tanpa ukuran atau kompleksitas. Secara umum, sistem proses *thermal* didefinisikan sebagai sistem yang merespons dalam beberapa cara untuk perubahan temperatur.

Sumber energi dari sebuah sistem *thermal* juga memerlukan beberapa tambahan klasifikasi untuk membedakannya dari sistem lain. Energi, misalnya hadir dalam tiga bentuk dasar: panas, cahaya, dan gerakan mekanis. bentuk energi tersebut berhubungan dengan batas tertentu. Hubungan ini didasarkan pada kenyataan bahwa energi dari satu bentuk dapat dengan mudah diubah atau ditransfer ke salah satu bentuk lain yang ada. Sumber energi dari sebuah sistem *thermal* biasanya beroperasi dengan mengubah energi dari satu bentuk ke suatu bentuk yang berbeda[9].

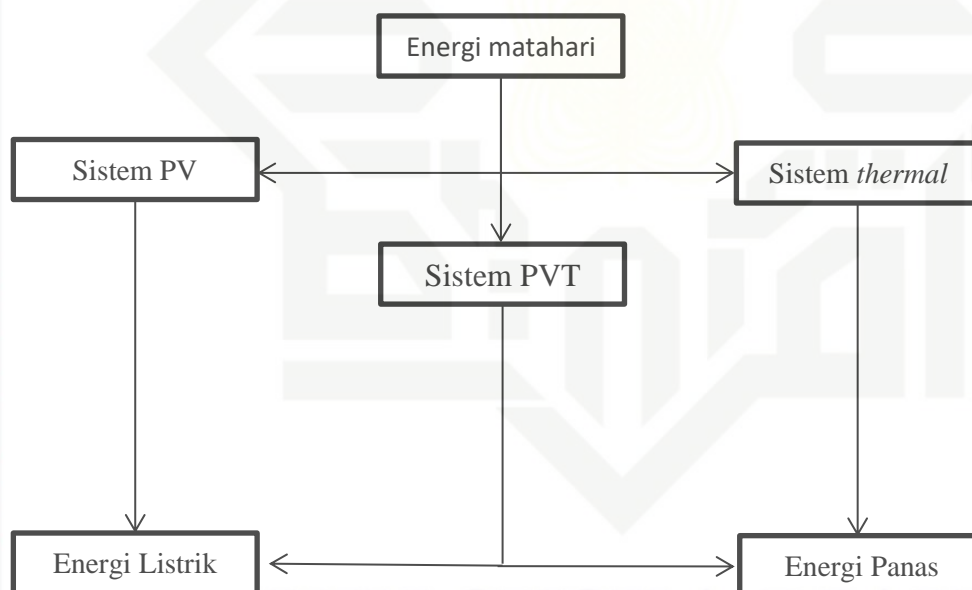
Pada sistem *thermal* yang terdapat pada PV/T, sistem akan mentransfer temperatur yang terdapat pada permukaan dengan menggunakan aliran fluida berupa air untuk

menurunkan nilai temperatur yang terdapat pada PV untuk meningkatkan Perolehan energi listrik yang dihasilkan oleh PV.

2.6 Photovoltaic-Thermal (PV/T)

PV/T merupakan integrasi dari modul PV dan kolektor panas surya pada satu peralatan. Konsep gabungan sebuah sel surya mengubah sistem PV dengan mengkonversi energi matahari menjadi listrik[15], namun tidak semua energi matahari dapat konversi menjadi energi listrik. Sebagian besar energi yang di terima PV diubah menjadi panas, energi panas dapat menyebabkan kenaikan temperatur sel PV, kenaikan temperatur pada sel PV dapat mengurangi efisiensi, dengan demikian maka digunakan sistem pendingin berupa aliran fluida. Aliran fluida mampu meningkatkan performa energi listrik yang dihasilkan sel PV, pada saat yang sama, panas pada PV/T juga dapat dimaafkan sebagai pemanas ruangan dan air ataupun sistem pengeringan seperti pengeringan pakaian, kerupuk dan lain-lain[16].

Alur pemanfaatan energi matahari melalui sistem PV/T dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Alur Pemanfaatan Energi Matahari[9]

2.6.1 Fluida Photovoltaic-Thermal

Pada PV/T terdapat beberapa jenis fluida yang digunakan, dengan memiliki sistem kerja yang berbeda berdasarkan bentuk fluida sistem pendingin, berikut sistem-sistem pendingin PV/T :



1. Kolektor cair

Desain dasar fluida pendingin menggunakan saluran untuk mengarahkan aliran fluida dari berbagai bahan atau pelat yang menempel di bagian belakang modul PV/T. Dalam sistem berbasis cairan secara umum biasanya air, glikol atau minyak mineral disalurkan melalui pipa-pipa atau piring-piring *chillers*.

Panas sel PV/T berpindah melalui logam dan diserap oleh fluida yang bekerja Dalam sistem *loop* tertutup, sehingga panas ditransfer dan mengalami penukaran aliran. Dalam sistem *loop* terbuka, panas akan habis sebelum cairan kembali ke PV/T. Keuntungan dasar dari jenis konfigurasi *split* ini adalah kolektor panas dan kolektor PV dapat beroperasi pada temperatur yang berbeda[24].

2. Kolektor Udara

Kolektor udara PV/T merupakan pendingin fluida berupa udara yang dialirkan di bawah permukaan PV, dengan menggunakan penutup yang terbuat dari kaca guna mengurangi *heat lose* yang terjadi. Namun keberadaan penutup kaca akan dapat mengurangi kinerja elektrik dari PV, selain itu udara juga mempunyai kapasitas kalor dan konduktivitas yang rendah, sehingga menyebabkan kemampuan perpindahan panas yang rendah, serta udara juga memiliki tingkat *heat losses* yang cukup tinggi. Adapun keuntungan dari fluida udara ini tidak akan terjadi pembekuan ataupun pendidihan fluida, dan tidak akan menyebabkan kerusakan bila terjadi kebocoran serta infrastruktur yang dibutuhkan memiliki biaya dan kompleksitas yang lebih rendah[6].

2.6.2 Tedlar

Tedlar Merupakan suatu pelekak multi-laminasi yang memperkuat suatu material yang digunakan pada *back sheet* panel surya yang mana memiliki ketahanan akan pada temperatur ekstrem antara -70°C hingga $+110^{\circ}\text{C}$. Tedlar juga perekat yang memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap kelembaban dan radiasi sinar matahari yang memiliki ketahanan cuaca tinggi dan juga mempunyai ketahanan yang permeabilitas kelembaban, uap, minyak yang rendah dan dapat digunakan dalam kisaran temperatur yang rendah. Perekat ini memiliki kualitas tinggi, obligasi, sehingga dapat menjaga dalam rentang waktu yang maksimal pemakaian umur panel, perekat ini juga memiliki bentuk yang fleksibel dengan mempunyai daya tahan cahaya[25], [26].



2.6.3 Persamaan Matematis PV/T

Sebagian besar energi matahari yang diterima diubah menjadi panas, ini menyebabkan kenaikan temperatur pada PV. Kenaikan temperatur pada PV dapat terjadinya penurunan daya yang diperoleh, dengan demikian peningkatan temperatur pada PV dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan efisiensi listrik dengan cara sistem pendingin. Untuk memperoleh efisiensi listrik PV/T maka digunakan berbagai persamaan dalam perhitungan.

Adapun ketika panas matahari menyinari PV/T, energi matahari yang tidak dapat dimanfaatkan dengan baik, yang berupa panas di permukaan panel, dikonduksikan melalui permukaan panel PV/T ke *reservoir wall*, dengan begitu untuk perpindahan panas yang terjadi pada PV/T dapat ditulis dengan persamaan 2.6[11]:

$$\nabla(K \nabla T) = 0 \dots\dots\dots (2.6)$$

mengkonversi sebagian ke listrik melalui PV dan sisanya berubah menjadi panas. Tujuan dari konduksi panas sel PV adalah untuk menghilangkan sebanyaknya panas dalam rangka meningkatkan efisiensi. Dan untuk menghilangkan panas pada permukaan sel PV dapat ditulis dengan persamaan 2.7[11]:

$$q_{conv} = -h_{c,forced} A(T_{pv} - T_{amb}) \dots\dots\dots (2.7)$$

Hilangnya panas permukaan sel PV menggunakan suatu media berupa aliran fluida air. Adapun perpindahan panas yang terjadi disebabkan oleh terdapatnya perbedaan nilai temperatur di antara *layer*, perpindahan ini dapat dipecahkan secara numerik dengan persamaan 2.8 termodinamika kedua, berikut adalah persamaannya[11].

$$\nabla \cdot (\rho u) = 0 \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\rho u \cdot \nabla u = -\nabla p + \nabla \cdot (\mu (\nabla u + (\nabla u)^T)) \dots\dots\dots (2.9)$$

Pada proses perpindahan panas yang terjadi pada sistem PV/T secara konduksi dan konveksi melalui aliran fluida air pada *reservoir wall* yang diselesaikan dengan persamaan konveksi-konduksi perpindahan panas ini dapat di tuliskan dengan Persamaan 2.10[11]:

$$\rho C_p u \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) \dots\dots\dots (2.10)$$



2.7 Persamaan Temperatur Sel PV

Untuk memperoleh nilai temperatur PV dapat dituliskan dengan menggunakan persamaan 2.11 di bawah ini.

$$T_c = T_{amb} + \frac{(T_{noct} - 20)}{800} \times G \dots\dots\dots (2.11)$$

Berdasarkan dari *Homer help page* dengan penggunaan *software* berupa simulasi dengan menggunakan nilai temperatur sebesar 25°C mengikuti nilai radiasi sebesar 800 W/m²[27]. Keterangan :

T_c = Temperatur PV (K)

T_{amb} = Temperatur lingkungan (K)

T_{noct} = nilai operasi sel PV (K)

G = Intensitas cahaya matahari (Wm²/m)

2.8 Analisis Performa Sistem PV/T

Pada sistem PV/T dilakukan analisis performa energi yang mampu dihasilkan oleh sistem dengan memvariasikan material *reservoir wall* pada sistem *thermal* yang meliputi sebagai berikut.

2.8.1 Analisis Daya Listrik PV/T

Sistem aliran fluida merupakan sistem pendingin dengan tujuan meningkatkan efisiensi dengan mengurangi *thermal* pada PV/T, efisiensi listrik pada PV/T dapat diberikan oleh persamaan 2.12 di bawah ini[10].

$$\eta_{pv} = \eta_{ref} [1 - \beta_{ref} (T_{pv} - T_{ref})] \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan

η_{pv} = Efisiensi PV.

η_{ref} = Efisiensi PV Monokristalin.

β_{ref} = *Thermal PV Monocrystalline*.

T_{pv} = Temperatur PV

Untuk energi listrik pada PV/T dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2.13 sebagai berikut[28].

$$E_{PV} = \eta_{PV} \times A_m \times G \dots\dots\dots (2.13)$$

E_{PV} = Daya Listrik sel PV (Watt)



A_m = Luas sel PV (m^2)

G = Intensitas Matahari (Wm^2/m)

Energi listrik PV/T dapat dihitung dalam bentuk harian, bulanan dan tahunan. Dan dapat di tulis dalam persamaan sebagai berikut[25].

Energi listrik per hari (kWH) yang dihasilkan pada sistem PV/T dapat ditulis melalui persamaan 2.14.

$$E_{hari} = \eta_{pv} \times A \times \sum_{i=1}^n I(t) \dots \dots \dots (2.14)$$

Energi listrik per bulan (kWH) yang dihasilkan pada sistem PV/T dapat diketahui melalui persamaan 2.15.

$$E_{bulan} = \sum_{i=1}^N E_{hari} \dots \dots \dots (2.15)$$

Energi listrik per tahun (kWH) yang dihasilkan pada sistem PV/T dapat diketahui melalui persamaan 2.16 berikut ini.

$$E_{tahun} = \sum_{k=1}^{12} E_{bulan} \dots \dots \dots (2.16)$$

2.8.2 Analisis Energi Thermal

Energi *thermal* yang berdasarkan perpindahan panas secara konveksi pada simulasi dapat dituliskan dengan persamaan 2.17[27].

$$\dot{Q}_{th} = \dot{m}c(T_{out} - T_{in}) \dots \dots \dots (2.17)$$

$$\dot{m} = \rho \times V \times A \dots \dots \dots (2.18)$$

Dan pada efisiensi energi *thermal* yang diperoleh dari sistem dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut [28] :

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_{th}}{G \times A} \dots \dots \dots (2.19)$$

Energi *thermal* yang dihasilkan oleh sistem PV/T dapat dihitung dalam bentuk harian, bulan dan tahun. Persamaannya dapat ditulis sebagai berikut[25].

Energi *thermal* per hari (kWH), yang dihasilkan pada sistem PV/T dapat diketahui melalui persamaan 2.20.

$$Q_{hari} = \sum_{i=1}^n \frac{\dot{Q}_U}{1000} \dots \dots \dots (2.20)$$

Energi *thermal* per bulan (kWH) yang dihasilkan pada sistem PV/T dapat diketahui melalui persamaan 2.21.

$$Q_{bulan} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \frac{\dot{Q}}{1000} \dots \dots \dots (2.21)$$

Energi *thermal* per tahun (kWH) yang dihasilkan pada sistem PV/T dapat diketahui melalui persamaan 2.22[25].

$$Q_{\text{tahun}} = \sum_{K=1}^{12} Q_{\text{bulan}} \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan :

Q_{th} = Aliran energi *thermal* (J/s)

m = Laju aliran massa fluida (kg/s)

V = Kecepatan aliran masuk (m/s)

C_p = Panas jenis tekanan konstan [J(kg/K)]

ρ = massa jenis (kg/m³)

η_{th} = Efisiensi energi *thermal*

2.8.3 Efisiensi Energi Total Sistem PV/T

Analisis efisiensi energi secara keseluruhan pada sistem PV/T dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.23[26].

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_{PV} + \eta_{th} \dots\dots\dots (2.23)$$

2.8.4 Efisiensi *Primary Energy Saving* (PES)

Efisiensi PES merupakan gabungan *efficiency thermal* dan listrik yang mana untuk rasio berbeda dari energi listrik ke energi *thermal* yang sebenarnya dieksploitasi dari perbedaan kedua jenis energi listrik dan *thermal* yang di hasilkan oleh sistem PV/T, maka dilakukan penyamaan energi, yang mana listrik dari PV di ekuivalen menjadi energi *thermal* terlebih dahulu sebelum melakukan analisis efisiensi energi listrik secara menyeluruh pada sistem PV/T, dan ini merupakan Perolehan tingkat tertinggi efisiensi energi yang mampu diperoleh oleh suatu sistem, dapat ditulis dalam persamaan berikut[26].

$$\eta_{PES} = \frac{\eta_{PV}}{\eta_{tis, kon}} + \eta_{th} \dots\dots\dots (2.24)$$

Nilai efisiensi listrik pembangkit konvensional sebesar 38 %. Merupakan nilai efisiensi pembangkit listrik *thermal* yang berbahan baku berupa batu bara.

Keterangan :

η_{PES} = Efisiensi *primary energy saving*

η_{PV} = Efisiensi listrik sel PV

η_{th} = Efisiensi energi *thermal*



$\eta_{lis,kon}$ = Efisiensi listrik pembangkit konvensional

2.9 Penyelesaian Model Matematis

2.9.1 Metode Numerik

Metode numerik adalah teknik yang digunakan untuk memformulasikan persoalan matematis sehingga dapat dipecahkan dengan operasi perhitungan/aritmetika biasa (tambah, kurang, kali, dan bagi). Pemecahan aritmetika dengan metode ini selalu berbentuk angka dan memperoleh solusi yang menghampiri atau mendekati solusi sejati sehingga solusi numerik dinamakan juga solusi mendekati (*approximation*) atau solusi pendekatan, namun solusi mendekati dapat dibuat seteliti yang kita inginkan, perlu dipahami bahwasanya solusi mendekati jelas tidak tepat sama dengan solusi sejati, sehingga ada selisih antara keduanya. Selisih inilah yang disebut dengan galat (*error*). Pada metode numerik terdapat kelemahan, kelebihan, dan manfaat tersendiri dalam metode ini.

- 1) Kelemahan Metode numerik :
 - a) Nilai yang diperoleh mendekati, tanpa bantuan alat hitung.
 - b) Memiliki perhitungan lama dan berulang-ulang.
- 2) Kelebihan metode numerik
 - a) Selalu mendapatkan solusi persoalan dengan bantuan komputer.
 - b) Memiliki perhitungan cepat dan hasilnya dapat dibuat sedekat mungkin dengan nilai sebenarnya[29].
- 3) Adapun manfaat mempelajari metode numerik
 - a) Mampu menangani sistem persamaan besar, ketak linier dan geometri yang rumit, yang dalam masalah rekayasa tidak mungkin dipecahkan secara analitis.
 - b) Mengetahui secara singkat dan jelas teori matematika yang mendasari paket program dihadapi pada masalah rekayasa.
 - c) Mampu merancang program sendiri sesuai permasalahan yang dihadapi pada masalah rekayasa.
 - d) Sangat sesuai dengan menggambarkan ketangguhan dan keterbatasan komputer dalam menangani masalah rekayasa yang tidak dapat ditangani secara analitis.
 - e) Menangani galat (*error*) suatu nilai mendekati dari masalah rekayasa yang merupakan bagian dari paket program yang berskala besar.



- f) Menyederhanakan matematika yang lebih tinggi menjadi operasi-operasi yang mendasar[29].

2.9.2 Metode Analitik

Metode analitik dikenal juga metode sejati karena ia memberi solusi sejati (*exact solution*) atau solusi yang sesungguhnya, yaitu solusi yang memiliki galat (*error*) sama dengan nol. Sayangnya, metode analitik hanya unggul untuk sejumlah persoalan yang terbatas, yaitu persoalan yang memiliki geometri sederhana serta bermatra rendah, metode ini biasanya menghasilkan solusi dalam bentuk fungsi matematis yang selanjutnya fungsi matematis tersebut dapat dievaluasi untuk menghasilkan nilai dalam bentuk angka. Adapun kelemahan dan kekurangan metode analitik adalah :

- 1) Kelemahan metode analitik
 - a) Memerlukan banyak waktu, tenaga dan pikiran dalam menyelesaikan persoalan dan bahkan terkadang tidak menemukan persoalan penyelesaian.
- 2) Kelebihan metode analitik
 - a) Nilai yang diperoleh adalah tepat (*exact*)[30].

2.10 Simulasi

Simulasi adalah teknik meniru operasi proses yang terjadi pada sistem dengan perantara perangkat lunak (*software*) komputer yang dilandasi oleh beberapa asumsi tertentu sehingga sistem tersebut dapat dipelajari. Simulasi merupakan alat yang tepat untuk melakukan eksperimen dalam rangka mencari Perolehan terbaik dari komponen-komponen sistem dikarenakan akan membutuhkan waktu yang lama dan biaya tinggi jika eksperimen dicoba secara nyata[31].

2.11 Comsol Multi-Fisika 4.3b

Comsol multi-fisika merupakan peranti interaktif untuk pemodelan dan pemecahan dari semua jenis masalah sains dan teknik berdasarkan pada persamaan diferensial parsial (PDEs). Dengan peranti lunak comsol ini dapat dengan mudah memperluas model konvensional untuk salah satu tipe ilmu fisika menjadi model-model multi-fisika yang dapat memecahkan gabungan fenomena fisika dan menyelesaikannya secara bersamaan. Dengan menggunakan model aplikasi ini dapat melakukan berbagai macam tipe analisis termasuk analisis *stasioner*, analisis *linear* dan *no linear* dan *Eigen frekuensi* dan analisa pegadaian.



Comsol Multi-fisika terdapat mode, berkat mode-mode fisika sangat memungkinkan membangun model dengan mendefinisikan jumlah fisik yang relevan seperti sifat material, beban, kendala, sumber dan fluk berbanding dengan mendefinisikan persamaan-persamaan matematika. Pada comsol dapat juga menerapkan variabel, lambang atau nomor secara langsung ke bidang, batas, tepi dan titik dengan bebas pada jaringan komputasi. Comsol multi-fisika kemudian secara internal menyusun seperangkat PDEs mewakili keseluruhan model.

Ketika pemecahan PDEs, comsol menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM). Peranti ini menjalankan analisis elemen hingga bersamaan dengan jaringan adaptif dan mengontrol *error* dengan berbagai pemecahan numerik. PDEs membentuk dasar hukum sains dan menyediakan basis dasar untuk memodelkan berbagai fenomena ilmiah dan rekayasa, oleh karena itu dapat menggunakan comsol multi-fisika berbagai area aplikasi seperti Akustik, *Biosains*, Reaksi kimia, *Diffuse*, Elektromagnetik dan lain-lain[14].

Hal ini dapat diunduh dari UIN Suska Riau. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alur Penelitian

Proses simulasi pada sistem PV/T dimulai dari tahap perencanaan yang terdiri dari identifikasi masalah, rumusan masalah, tujuan masalah, yang berkaitan dengan penelitian, kemudian dilanjutkan dengan studi literatur penelitian, dan melakukan pengumpulan data dari jurnal terkait

Selanjutnya melakukan analisis temperatur PV dengan menggunakan *tool* berupa peranti lunak comsol 4.3b, bila Perolehan temperatur berdasarkan dari peranti lunak comsol yang dilakukan memiliki nilai yang mendekati/sama berdasarkan jurnal terkait[11],[27], maka akan dilakukan kelanjutan dari penelitian ini berdasarkan tujuan penelitian yaitu, menganalisis performa pada daya listrik, energi *thermal*, efisiensi total dan PES. Dan bila terjadi Perolehan temperatur sel dari peranti lunak comsol yang tidak mendekati dari jurnal terkait, maka dilakukan perbaikan kembali pada analisis temperatur di dalam peranti lunak comsol, hingga memperoleh temperatur sel PV sesuai/mendekati dari jurnal terkait[11],[27].

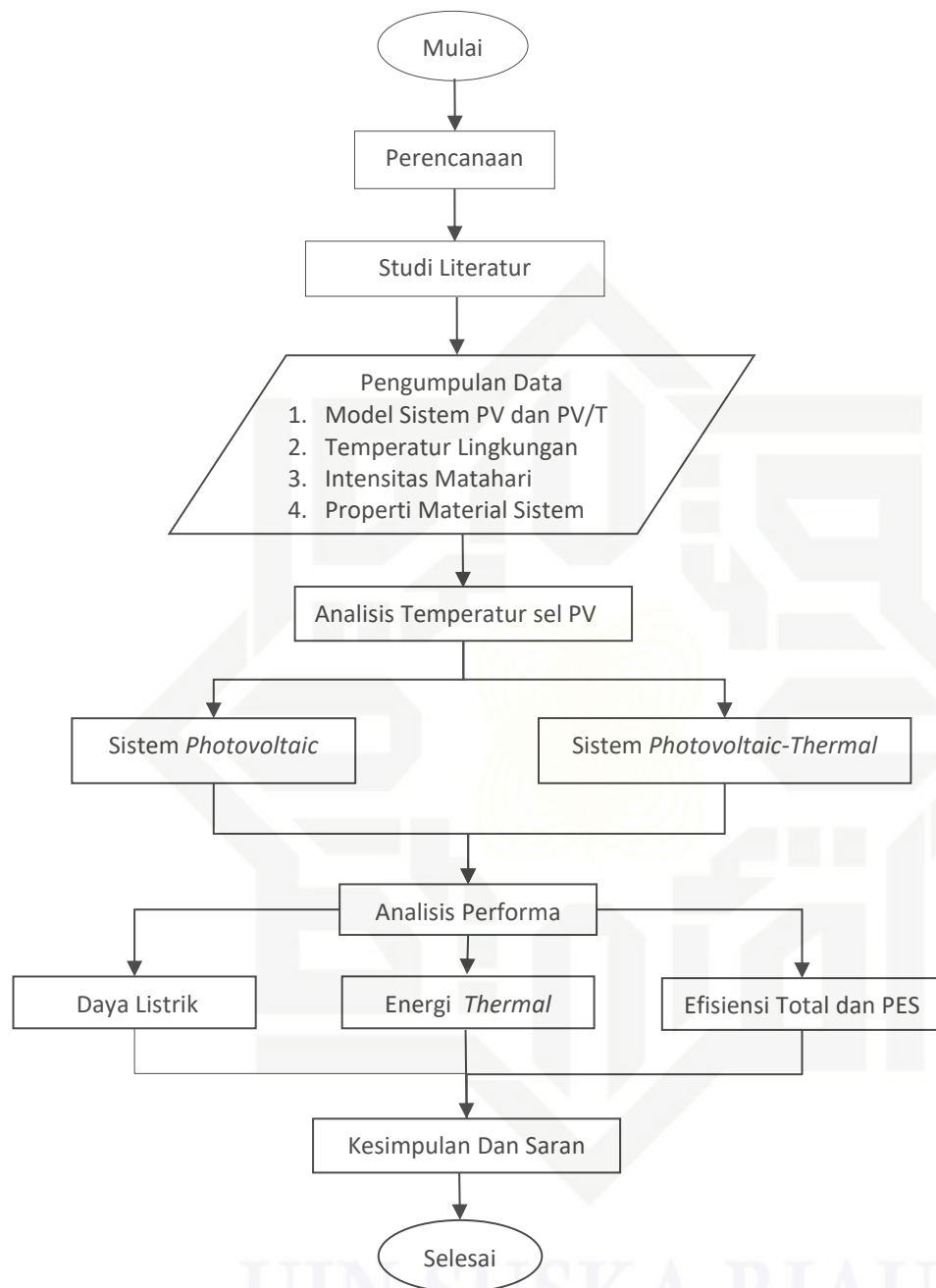
Dan langkah terakhir melakukan penarikan kesimpulan, maka selesai dengan tersusunnya dalam bentuk laporan. Adapun untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.1 alur penelitian di bawah ini.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3.1 Bagan Diagram Alur Penelitian

3.2 Tahap Perencanaan

Pada alur diagram tahap perencanaan dalam penelitian ini melingkupi dari identifikasi masalah, rumusan masalah dan tujuan. Untuk lebih jelasnya sebagai berikut.



3.2.1 Identifikasi Masalah

Berdasarkan permasalahan yang terjadi diakibatkan oleh peningkatan temperatur sel PV yang mempengaruhi penurunan efisiensi daya listrik. Maka dilakukan kajian performa energi pada sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung untuk mengetahui perbandingan energi terhadap sistem PV.

3.2.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah dalam penelitian ini, bagaimana menganalisis performa daya listrik, energi *thermal*, efisiensi total dan PES pada sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung.

3.2.3 Membuat Tujuan

Target yang akan dicapai dalam penelitian berdasarkan identifikasi masalah yang ada. Tujuan yang ingin dicapai adalah mengetahui performa energi pada sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung. Penelitian ini juga memberikan rekomendasi secara akademis dapat menambah referensi yang berkaitan dengan sistem PV/T sebagai sumber energi terbarukan.

3.3 Studi Literatur

Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan pengumpulan beberapa penelitian yang dibutuhkan untuk menjadi referensi seperti buku, artikel dan jurnal-jurnal sebagai *literature review* baik nasional maupun internasional guna mendapatkan topik yang akan diteliti oleh penulis, selanjutnya setelah mendapatkan topik, penulis mengumpulkan referensi penelitian yang berkaitan dengan topik yang akan diteliti guna menentukan tujuan penelitian dan judul berdasarkan yang telah ditetapkan.

3.4 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder, data sekunder merupakan data yang diperoleh peneliti dari sumber yang sudah ada, adapun data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

3.4.1 Model Sistem

Pada penelitian ini terdapat dua bentuk model sistem yaitu sistem PV dan PV/T. Pada model sistem PV memiliki lapisan setiap *layer* yang terdiri dari EVA bagian atas, sel PV, EVA bagian bawah, dan aluminium. Pada sistem PV/T dalam penelitian ini mengikuti



penelitian[10] dengan penambahan kaca pelindung dan tedlar, pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung pada sistem PV/T merupakan model terbaru. Adapun lapisan *layer* dari sistem PV/T sebagai berikut.

1. *Glass cover* atau dikenal juga sebagai kaca pelindung yang transparan terletak pada bagian paling atas dari permukaan PVT.
2. *Etilena-vinil asetat* (EVA) pada lapisan kedua yang mana terdapat juga pada lapisan keempat, pada lapisan desain PVT.
3. Pada lapisan ketiga terdapat sel PV, sel PV yang digunakan berupa jenis *Monocrystalline* yang terletak pada antara EVA.
4. tedlar merupakan pelekats yang dapat melindungi pemakaian PV/T dalam rentang waktu yang lama yang terletak pada lapisan *layer* kelima.
5. *Thermal paste* merupakan bagian PV/T yang tersusun pada lapisan keenam.
6. Pada lapisan terakhir terdapat *reservoir wall* (dinding pembatas aliran), sebagai tempat pembatas aliran fluida. Dalam penelitian ini dilakukan asumsi terhadap material *reservoir wall* dalam empat jenis (Aluminium, Perak, Tembaga dan Titanium), pemilihan keempat material *reservoir wall* di karena memiliki sifat penghantar yang baik, dengan tujuan untuk mengetahui Perolehan energi yang mampu dihasilkan dari sistem. Adapun material *reservoir wall* yang digunakan di antaranya sebagai berikut :

a. Aluminium

Aluminium merupakan bagian dari logam yang dapat menghantarkan panas. Pada komponen listrik aluminium di gunakan sebagai kabel bertegangan tinggi di karena memiliki hantaran yang baik. Aluminium memiliki sifat yang tahan terhadap korosi dengan memiliki sifat logam yang lunak, tahan lama, ringan[32].

b. Perak

Perak merupakan bagian unsur kimia logam yang dapat menghantar panas dengan memiliki reflektifitas tertinggi dari semua logam. Sehingga perak sering dijadikan sebagai kontak dan sirkuit dalam komponen listrik yang mana dikarenakan tidak mudah menyebabkan terjadinya percikan api[33].

c. Tembaga

Tembaga merupakan sebuah konduktor listrik dan penghantar panas yang baik dengan memiliki konduktivitas listrik dan konduktivitas *thermal* yang cukup baik



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

setelah perak. tembaga sering di gunakan dalam komponen listrik sebagai kabel penghantar arus listrik yang disebabkan memiliki sifat yang kuat[32].

d. Titanium

Titanium adalah logam yang kuat dan bersifat *inert* (Lembam) dengan memiliki densitas yang paling baik dari logam lain. Titanium memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, mudah dibentuk dan memiliki resistansi korosi yang baik, sehingga penerapan titanium pada industri terdapat pada mesin pemindahan panas dan bejana bertekanan tinggi[34].

Pada sistem PV/T terdapat *reservoir* sebagai penyerap panas dengan menggunakan aliran berupa fluida air, dan pada *input*-an aliran fluida dilakukan asumsi dasar kecepatan dengan aliran yang bersifat laminar, asumsi aliran laminar dilakukan karena aliran memiliki gerakan lurus sejajar dengan *reservoir wall* secara teratur. Sehingga dapat memperoleh profil kecepatan aliran fluida dan profil temperatur PV.

3.4.2 Data

Dalam sistem yang dilakukan pada pengujian penelitian ini menggunakan data sekunder yang meliputi temperatur *inlet*, radiasi matahari dan kecepatan angin berdasarkan *Standard Test Condition* (STC). STC merupakan standar pengujian kinerja PV yang telah diuji[11].

3.4.3 Properti Material Sistem

Properti material sistem yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan dari jurnal penelitian[11] yang mencakup dari lapisan material etil vinil asetat(EVA), sel PV, *thermal paste*. Dan dari jurnal terkait penelitian[27] yang meliputi properti material kaca pelindung dan tedlar, sedangkan pada sifat material *reservoir wall* sangat di pengaruhi oleh nilai konduktivitas panas, densitas dan panas tekanan konstan dari sifat material, sehingga dilakukan asumsi empat material penghantar panas, dengan tujuan untuk mengetahui performa Perolehan energi yang mampu dihasilkan oleh sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung.

3.5 Analisis Temperatur Sel PV

Terdapat dua bentuk performa yang akan dianalisis pada temperatur, yaitu pada sistem PV dan sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung. Sebelum melakukan analisis performa, tahap awal yang dilakukan adalah menghitung temperatur sel



PV. Pada sistem PV, perhitungan dilakukan secara manual dengan persamaan 2.11 temperatur PV berdasarkan NOCT (*Normaly Operating Cell Temperature*)[28].

Pada sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung, perhitungan temperatur sel PV dilakukan dengan menggunakan suatu *tool* berupa peranti lunak comsol 4.3b. Pada simulasi peranti lunak comsol dilakukan pemodelan sistem, dengan meng-*input* properti material, data radiasi, temperatur yang digunakan, dan memilih model *physics* berupa *heat transfer in fluids* dan *laminar flow*. Perhitungan temperatur pada kedua sistem diuji untuk kebenaran perhitungan, maka dilakukan validasi.

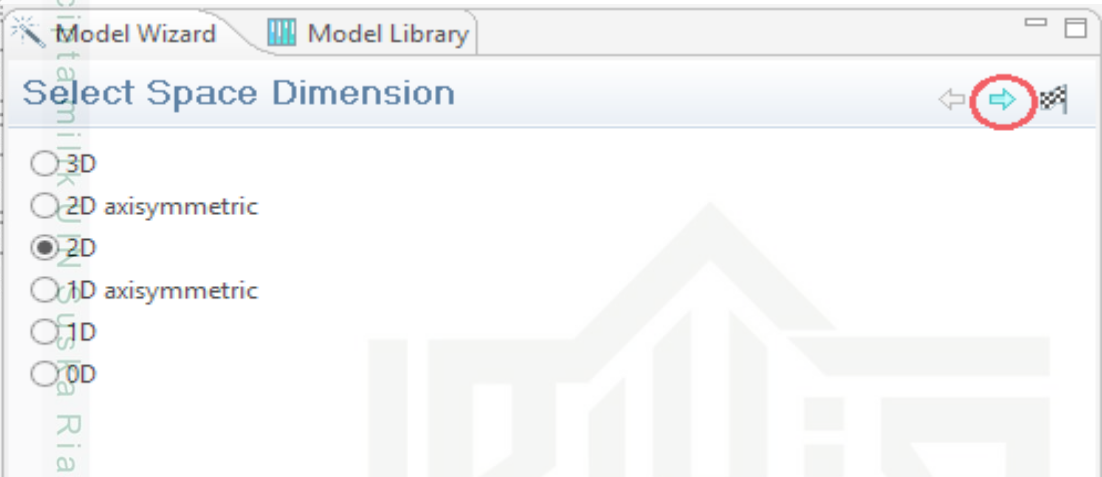
Validasi yang dilakukan dari simulasi berupa nilai temperatur dengan membandingkan Perolehan perhitungan secara manual terhadap penelitian[28], dan simulasi dengan temperatur pada penelitian terkait[11]. Adapun tahap simulasi pada peranti lunak comsol memiliki tiga tahapan yaitu berupa, prosesan awal, prosesan numerik dan prosesan akhir. Untuk menghitung temperatur sel PV lebih jelasnya dapat diperhatikan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alur Simulasi

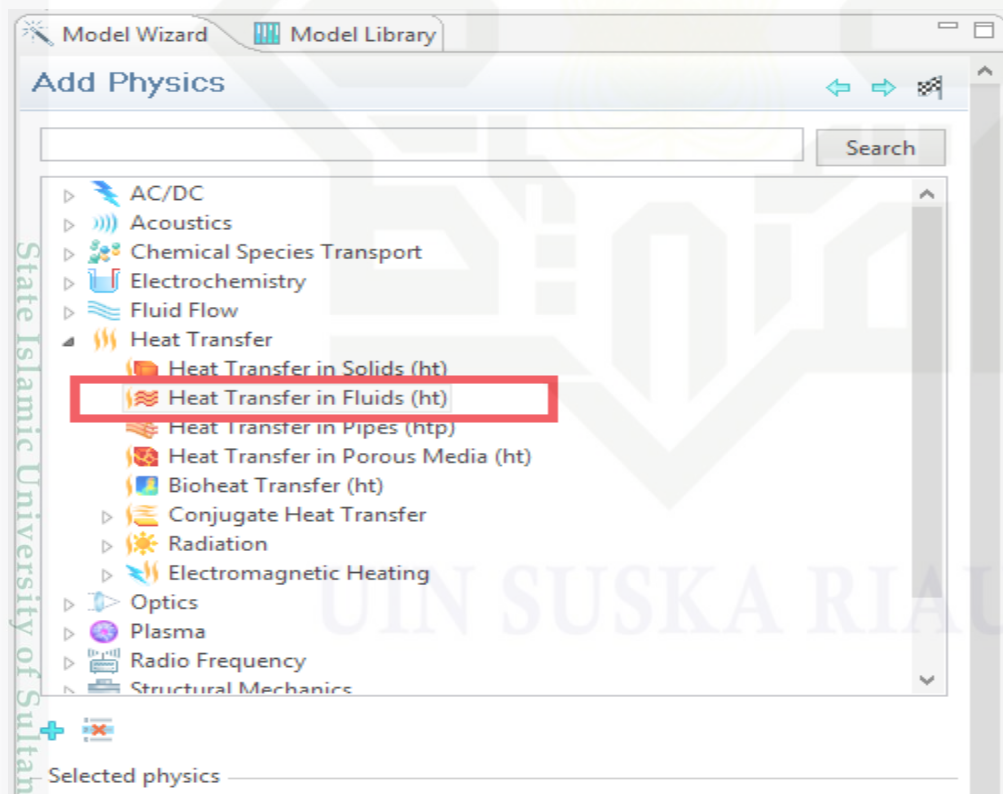
3.5.1 Melakukan prosesan Awal

Langkah awal dilakukan adalah menentukan *spec dimension* pada simulasi, ini merupakan sistem pemodelan selanjutnya.



Gambar 3.3 Pemilihan *Spec dimension*

- b. Pemilihan modul yang digunakan pada simulasi berdasarkan kebutuhan yang ingin dilakukan dari tujuan simulasi.



Gambar 3.4 Pemilihan *Sub Model Heat Transfer*

- c. Selanjutnya memasukkan parameter yang digunakan berdasarkan kebutuhan yang disimulasikan pada kolom parameter.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

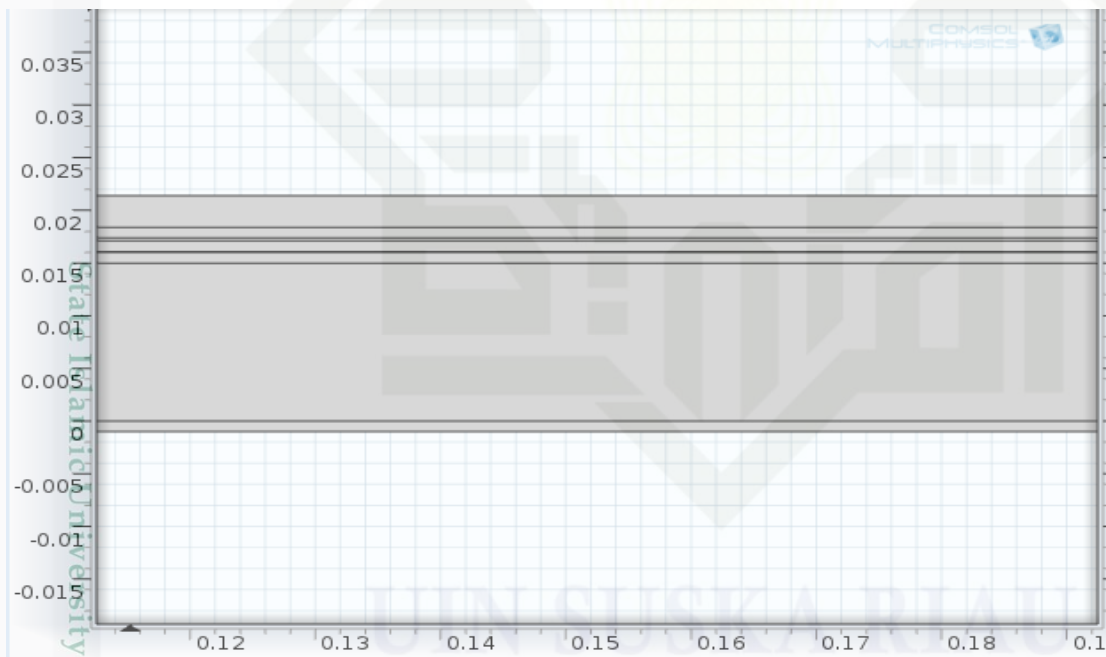
2. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Global Definitions	
Parameters	
Model 1 (mod 1)	
Definitions	
Geometry 1	
Materials	
Laminar Flow (spf)	
Heat Transfer in Fluids (ht)	
Mesh 1	
Study 1	
Results	

Name	Expression	Value	Description
L_ch	30.5/100	0.30500	Channel Length
t_ch	0.015	0.015000	Thickness Channel
t_al	1/1000	0.0010000	Thickness Wall Aluminu...
t_tp	0.1/1000	1.0000E-4	Thickness Thermal Paste
t_ev	1/1000	0.0010000	Thickness EVA
t_pv	0.3/1000	3.0000E-4	Thickness PV
t_td	0.05/1000	5.0000E-5	Thickness Tedlar
t_gl	3/1000	0.0030000	Thickness Glass
v_in	0.0002	2.0000E-4	Inlet Velocity
T_in	298.15	298.15	Inlet Temperature
T_am	298.15	298.15	Ambient Temperature
h_pv	6.5	6.5000	Coefficient heat transfer...
A_pv	0.305	0.30500	PV dimension
q_rad	1000	1000.0	Sun radiation
n_Tref	13/100	0.13000	Electrical efficiency
b_ref	0.54/100	0.0054000	Thermal coefficient

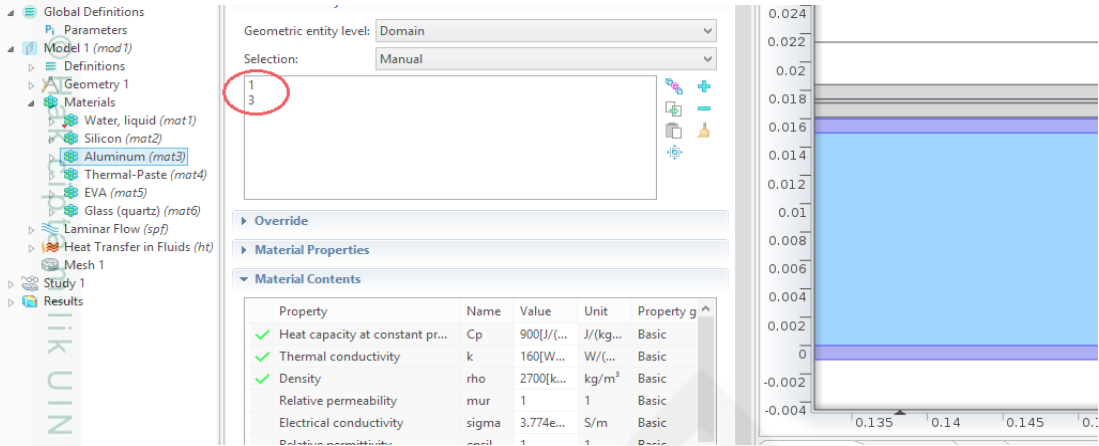
Gambar 3.5 Kolom Tabel Parameter

- Setelah memasukkan parameter, selanjutnya menggambarkan geometri yang digunakan dengan memilih pada model dan masukan geometri sebanyak yang digunakan lalu masukan nilai ukuran pada geometri.



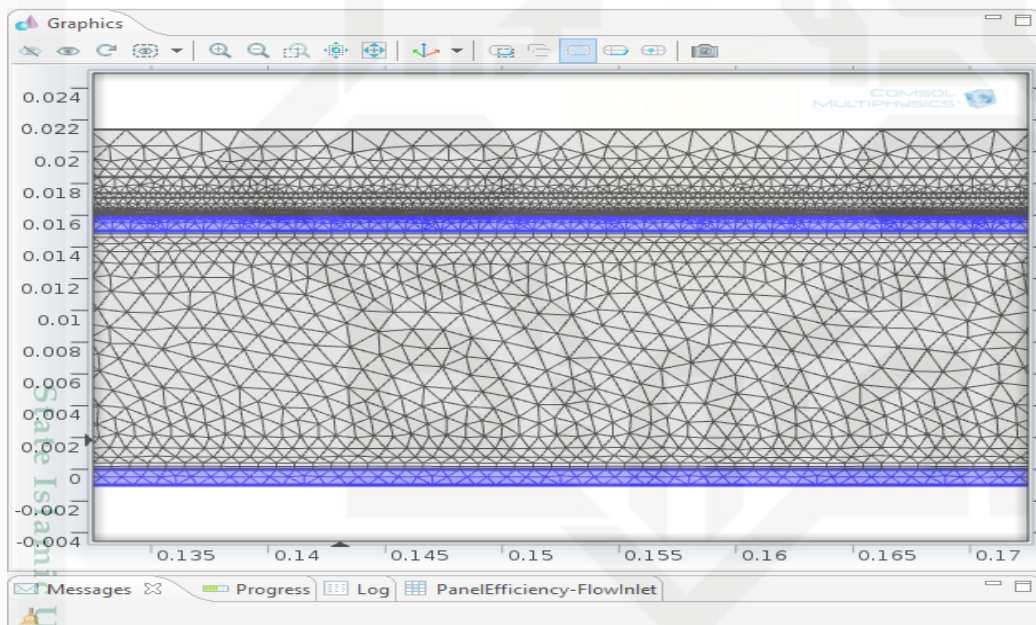
Gambar 3.6 Model Geometry PV/T Pada Comsol

- Langkah selanjutnya melakukan pemilihan material yang digunakan dalam PV/T (aluminium, perak, tembaga dan titanium). Kemudian membuat batasan *selection* dari material pada kolom *geometry entity selection*.



Gambar 3.7 selection Material PV/T

- f. Selanjutnya kita dapat melihat jaring-jaring pada prosesan model dari PV/T yang terdapat pada *Mesh*, dengan mengatur *mesh setting* sesuai diinginkan lalu jalankan dengan klik *Build all*.



Gambar 3.8 Jaring-jaring (*Mesh*)

3.5.2 Prosesan Numerik

Perhitungan numerik merupakan proses yang dilakukan sesuai parameter variabel yang berdasarkan nilai *input*. Perhitungan numerik dilakukan oleh peranti lunak comsol di dalam aplikasi secara otomatis dengan memilih *solfwos*.



3.5.3 Prosesan Akhir

Prosesan akhir adalah proses di mana tahap akhir dari simulasi comsol yang mana pada proses pemrosesan akhir ini adalah melakukan pengaturan *result* dan menampilkan hasil grafik dari simulasi.

3.6 Sistem Photovoltaic

Pada perhitungan temperatur dalam sistem PV dilakukan dengan menggunakan peranti lunak comsol. Dengan meng-*input* data yang digunakan berupa radiasi matahari, temperatur lingkungan, kecepatan angin, properti material yang digunakan, menggambarkan model sistem.

3.7 Sistem Photovoltaic-Thermal

Pada sistem PV/T perhitungan temperatur dilakukan dengan menggunakan peranti lunak comsol dengan meng-*input* data yang digunakan. Seperti radiasi matahari, temperatur lingkungan, kecepatan angin, properti material, parameter yang digunakan dan memilih model *physics* berupa *heat transfer in fluids* dan *laminar flow*.

3.8 Analisis Performa

Pada penelitian ini akan menganalisis performa energi pada sistem PV dan PV/T. Performa energi yang dianalisis pada sistem meliputi dari, daya listrik, energi *thermal*, efisiensi total dan efisiensi *primary energy saving*(PES). Analisis performa dilakukan setelah menghitung temperatur pada peranti lunak comsol dengan memasukan persamaan dalam peranti lunak comsol. Dan berikut adalah analisis energi pada sistem PV dan PV/T.

3.8.1 Daya Listrik

Daya listrik pada sistem PV dan PV/T dapat diketahui dalam peranti lunak comsol dengan menggunakan persamaan daya listrik 2.13. Perolehan daya listrik pada simulasi dari kedua sistem dapat dianalisis untuk mengetahui perbandingan daya listrik yang mampu diperoleh antara sistem PV dan PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung.

3.8.2 Energi Thermal

Energi *thermal* merupakan energi panas yang terdapat pada sel PV yang diakibatkan oleh intensitas matahari. Energi panas pada sel PV dapat diserap dengan aliran fluida yang terdapat pada sistem *thermal*. Dengan menggunakan persamaan 2.17 energi



thermal pada peranti lunak comsol, dapat dilakukan analisis energi *thermal* pada sistem, guna mengetahui performa energi *thermal*.

3.8.3 Efisiensi Total dan PES

Efisiensi total merupakan kalkulasi secara keseluruhan efisiensi yang dihasilkan oleh sistem PV/T, yang mana meliputi kalkulasi dari efisiensi daya listrik dan efisiensi *thermal* dengan menggunakan persamaan 2.23 pada peranti lunak comsol.

Efisiensi PES merupakan efisiensi energi yang mampu dihasilkan oleh sistem PV/T secara keseluruhan yang dapat digunakan dengan menggunakan persamaan 2.24. Hal ini dilakukan dengan cara menyamakan bentuk energi *thermal* berdasarkan pembangkit listrik konvensional uap berupa batu bara[26], yang mana secara keseluruhan daya listrik dari PV/T terlebih dahulu di setarakan ke energi *thermal*, dari hasil penyamaan energi, maka dapat dilakukan analisis performa efisiensi PES.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada sistem *Photovoltaik-Thermal* dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pada sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung diperoleh performa daya listrik sebesar 37.9154 W, pada ketebalan 0.015 m, dengan kecepatan aliran fluida 0.01 m/s. Dan pada sistem PV tanpa menggunakan sistem *thermal* di Peroleh daya listrik sebesar 30.527 W.
2. Performa energi *thermal* pada sistem PV/T dengan pengaplikasian tedlar dan kaca pelindung di peroleh sebesar 218.0351 W, yang terjadi pada kecepatan 0.01 m/s, dengan ketebalan 0.015 m.
3. Pada efisiensi total di dapatkan Perolehan performa sebesar 82.7378 %. Yang terjadi pada kecepatan aliran 0.01 m/s dengan ketebalan *reservoir wall* 0.015 m. Dan pada efisiensi *primery energy saving*(PES) didapatkan performa sebesar 72.1711 %, pada kecepatan aliran 0.01 m/s, dengan ketebalan 0.015 m.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas, maka dapat diajukan beberapa saran agar penelitian ini dapat bermanfaat dan dapat dilakukan penelitian lebih lanjut di masa yang akan datang. Beberapa saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya agar dapat melakukan *Time* dependen pada sistem PV/T dengan terdapatnya pengaruh eksternal terhadap sistem PV/T dan dengan memperhitungkan kemiringan pada PV/T.
2. Untuk penelitian selanjutnya juga dapat dilakukan perhitungan pembangkit listrik tenaga surya dan dengan memperhitungkan pengaruh umur pembangkit dari penggunaan tedlar dan kaca pelindungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPPT, "Pusat teknologi sumber daya energi dan industri kimia," in *Outlook Energy Indonesia*, 2016.
- [2] H. Hasan, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *J. Ris. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 10, pp. 169–180, 2012.
- [3] Triboesoono, "Content Statistik Ketenagalistrikan Tahun 2016," Jakarta.
- [4] Ministry of energy and mineral resource republic of indonesia, "Handbook Of Energy & Economic Statistik Of Indonesia," no. 2528–3464, 2017.
- [5] PPTK.BOE, "Pemafaatan energi surya melalui photovoltaik sebagai upaya pengembangan energi baru terbarukan dalam rangka diversifikasi energi mix di indonesia," 2015.
- [6] A. goleman, daniel; boyatzis, Richard; Mckee, "Journal of Chemical Information and Modelling," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [7] S. Swardi, "Pengaruh Material Monokristal Dan Polikristal Terhadap Karakteristik Sel Surya 20 Wp Dengan Trackingsistem Dua Sumbu," Universitas HKBP Nommensen, 2017.
- [8] D. I. D. Cilegon-banten, C. N. Ketut, W. Romi, and A. Firda, "Photovoltaic 100 Wp Monocrystalline Yang Dioperasikan," vol. V, no. 1, pp. 21–25, 2019.
- [9] A. Mallik and Z. Hasan, "PV/T Systems for Renewable Energy Storage: A Review," vol. 96, no. March, pp. 83–95, 2018.
- [10] M. Fiqi and Rizal, "Penerapan panel photovoltaik terintegrasi pada fasade dan atap," Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2008.
- [11] B. J. Fontenault and E. Gutierrez-miravete, "Modeling a Combined Photovoltaic-Thermal Solar Panel," *COMSOL Conf. Bost.*, pp. 1–8, 2012.
- [12] A. Hassanzadeh, "Experimental Study on Increasing the Electrical Efficiency of Photovoltaic Panel with Decreasing Rear Surface Temperature," University of california, 2015.
- [13] Y. Mustofa., Magga, R. & Arifin, "Desain Hybrid Panel Surya Tipe Monocrystalline dan Thermal Kolektor Fluida Desain Hybrid Panel Surya Tipe Monocrystalline dan Thermal Kolektor Fluida Air," no. February, 2016.
- [14] Program Studi Teknik elektro, *Panduan Pratikum Sistem Energi*. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- [15] A. Afriandi; Yusuf, Ismail; Hiendro, "Implementasi Water Cooling System Untuk Menurunkan Temperature Losses Pada Panel Surya," *Senastek*, no. 2, pp. 3–5, 2017.



- [16] Yakop, "Analisis Dan Permodelan Efek Laju Aliran Fluida Pada Hibrid Solar Pv-Thermal Panel," Universitas Gaja Mada.
- [17] A. Warsito, E. Adriono, M. Y. Nugroho, O. Oding, and B. Winardi, "Dipo Pv Cooler, Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Heatsink Fan Pada Panel Sel Surya (Photovoltaic) Sebagai Peningkatan Kerja Energi Listrik Baru Terbarukan," *Transient*, vol. 2, no. 3, pp. 499–503, 2013.
- [18] Pudjanarsa and Djati, *Mesin Konversi Energi*, Edisi Pert. Yogyakarta, 2006.
- [19] Richard and Dkk, "Pengaruh material monokristal dan polikristal terhadap karakteristik sel surya 20 WP dengan trackingsistem dua sumbu," Universitas HKBP nommensen.
- [20] R. A. M. Napitupulu, S. T. Mt, I. S. Simanjuntak, M. Eng, and H. Pengesahan, "Pengaruh Material Monokristal Dan Polikristal Terhadap Karakteristik Sel Surya 20 Wp Dengan Trackingsistem Dua Sumbu Oleh Universitas Hkbp Nommensen," 2017.
- [21] Ersas, "Bilangan Reynold dan bilangan nusselt.," 2013. [Online]. Available: Ersas,D. Bilangan Reynold dan bilangan nusselt. Novembdioersaputra.blogspot.com/2013/11/bilangan-reynolds-bilangan-nusselt.html.
- [22] Rois, Gunawa, and Chayun, "Analisa Performansi dan Monitoring Solar Photovoltaic System Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Tuban Jawa Timur," Institut Teknologi Sepuluh November, 2018.
- [23] R.Galih, "5 Faktor yang mempegaruhi Kinerja Solar Panel," 2015. [Online]. Available: <https://janaloka.com/5-faktor-yang-mempengaruhi-kinerja-solar-panel>.
- [24] Wikipedia, "Kolektor surya hibrida termal fotovoltaiik." [Online]. Available: https://translate.google.com/translate?hl=id&sl=en&u=https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic_thermal_hybrid_solar_collector&prev=search.
- [25] Raman, Tiwari, and Pandey, "Life cycle cost analysis of a hybrid photovoltaic-thermal water and air collector: A comparison study based on energy and exergy," 2019.
- [26] Miglioli, "Design, modelling and optimization of a hybrid photovoltaic-thermal collector," Politecnico dimilano.
- [27] A. Nahar, M. Hasanuzzaman, N. A. Rahim, and S. Parvin, "Numerical investigation on the effect of different parameters in enhancing heat transfer performance of photovoltaic thermal systems," *Renew. Energy*, vol. 132, pp. 284–295, 2019.
- [28] A. Olukan, Tuza, Emziane, and Mahieddine, "A Comparative Analysis of PV Module Temperature Models," no. A.Tuza Olukan, Mahieddine Emziane, 2014, "A Comparative Ana Energy Procedia 62 (2014) 694 – 70., 2014.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



- [29] Blogspot, “Metode numerik dan analitik,” 2015. [Online]. Available: STTP Medan Cabang Subulussalam. 2015. blogspot.com/2015/03/metode-numerik-metode-analitik.html.
- [30] Hanif, “metode analitik dan numerik.” [Online]. Available: metode analitik dan numerik” diakses dari www.hanif-roikhatul-fst12.web.unair.ac.id.
- [31] Blogspot, “Simulasi Pemodelan,” 2011. [Online]. Available: <http://simulasi-permodelan.blogspot.com/>.
- [32] S. Saroji, “Aluminium dan tembaga, logam kaya mafaat,” 2016. [Online]. Available: <http://kacamatatmtkb.blogspot.com/2016/02/aluminium-dan-tembaga-logam-kaya.html>.
- [33] Sarifuddin, “Reaksi kimia,” 2015. [Online]. Available: <https://amirsarifuddin.blogspot.com/2014/11/pengertian-perak-dan-kegunaannya-sebagai-perhiasan.html>.
- [34] Blogspot, “Titanium,” 2011, 2011. [Online]. Available: http://bilangapax.blogspot.com/2011/02/titanium-dan-paduannya_09.html.

LAMPIRAN A

A. Tabel Hasil Simulasi *Photovoltaic-Thermal* Dengan Pengaplikasian Tedlar dan Kaca Pelindung

Temperatur *Photovoltaic-Thermal* (K)

Material *Reservoir Wall* Aluminium

Kecepatan aliran (m/s)	Ketebalan aluminium 0.005 (m)	Ketebalan aluminium 0.01 (m)	Ketebalan aluminium 0.015 (m)
0.001	324.0761	323.11467	322.57431
0.002	322.13753	321.41095	321.21537
0.003	321.16093	320.66679	320.53939
0.004	320.46242	320.08126	320.0745
0.005	320.0235	319.69846	319.73648
0.006	319.63099	319.40531	319.47066
0.007	319.34869	319.13535	319.24734
0.008	319.12606	318.94316	319.05764
0.009	318.90826	318.73314	318.88999
0.01	318.73832	318.62599	318.74492

Material *Reservoir Wall* Perak

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Perak 0.005 (m)	Ketebalan Perak 0.01 (m)	Ketebalan Perak 0.015 (m)
0.001	322.04765	320.52257	319.68993
0.002	320.73129	319.572	319.02995
0.003	319.96515	319.10676	318.68843
0.004	319.51084	318.74489	318.41295
0.005	319.13451	318.50792	318.2266
0.006	318.85381	318.30093	318.07926
0.007	318.6039	318.12847	317.92749
0.008	318.43809	317.96278	317.83443
0.009	318.28171	317.86372	317.73339
0.01	318.12789	317.74812	317.64226

Material Reservoir Wall Tembaga

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Tembaga 0.005 (m)	Ketebalan Tembaga 0.01 (m)	Ketebalan Tembaga 0.015 (m)
0.001	311.31659	309.63014	308.6804
0.002	309.8004	308.57022	307.8719
0.003	308.97021	308.01352	307.4658
0.004	308.40458	307.62557	307.16706
0.005	308.02913	307.34687	306.94667
0.006	307.72867	307.12266	306.76091
0.007	307.45629	306.93653	306.60652
0.008	307.25706	306.78628	306.47499
0.009	307.07558	306.65017	306.35733
0.01	306.91549	306.52264	306.25093

Material Reservoir Wall Titanium

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Titanium 0.005 (m)	Ketebalan Titanium 0.01 (m)	Ketebalan Titanium 0.015 (m)
0.001	326.50672	326.4871	326.6398
0.002	323.81794	324.0175	324.2917
0.003	322.61253	322.8282	323.1793
0.004	321.8104	322.091	322.4565
0.005	321.23594	321.5509	321.9442
0.006	320.80998	321.1393	321.549
0.007	320.4511	320.8155	321.2246
0.008	320.15733	320.5411	320.9414
0.009	319.909	320.2967	320.7087
0.01	319.7041	320.0953	320.5118

Temperatur Output Photovoltaic-Thermal (K)
Material Reservoir Wall Aluminium

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Aluminium 0.005 (m)	Ketebalan Titanium 0.01 (m)	Ketebalan Titanium 0.015 (m)
0.001	304.13976	303.54799	303.10888
0.002	301.70255	301.41715	301.22114
0.003	300.77213	300.59759	300.4568
0.004	300.25193	300.09767	300.02382
0.005	299.93536	299.80892	299.75436
0.006	299.66747	299.60692	299.55536
0.007	299.51731	299.43314	299.40699
0.008	299.38908	299.31985	299.29
0.009	299.26754	299.18249	299.1924
0.01	299.19011	299.13541	299.11743

Material Reservoir Wall Perak

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Perak 0.005 (m)	Ketebalan Perak 0.01 (m)	Ketebalan Perak (m) 0.015
0.001	302.9215	301.9685	301.39224
0.002	301.12296	300.62692	300.30686
0.003	300.37259	300.0551	299.83078
0.004	299.97796	299.71311	299.54331
0.005	299.7073	299.49553	299.36119
0.006	299.51095	299.33557	299.22578
0.007	299.36573	299.20227	299.10079
0.008	299.24537	299.08857	299.03912
0.009	299.15957	299.03793	298.97104
0.01	299.07871	298.97383	298.91356

Material Reservoir Wall Tembaga

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Tembaga 0.005 (m)	Ketebalan Tembaga 0.01 (m)	Ketebalan Tembaga 0.015 (m)
0.001	303.39299	302.34705	301.7144
0.002	301.40807	300.86169	300.50524
0.003	300.59049	300.22134	299.97122
0.004	300.12525	299.85176	299.66087
0.005	299.83103	299.60702	299.45884
0.006	299.61379	299.4307	299.31036
0.007	299.45001	299.29731	299.19229
0.008	299.32955	299.19242	299.10013
0.009	299.22382	299.10545	299.02606
0.01	299.14124	299.0384	298.96536

Material Reservoir Wall Titanium

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Titanium 0.015 (m)	Ketebalan Titanium 0.01 (m)	Ketebalan Titanium 0.01 (m)
0.001	305.30729	305.48784	305.4878
0.002	302.25189	302.34909	302.3491
0.003	301.11642	301.1833	301.1833
0.004	300.51713	300.56793	300.5679
0.005	300.12203	300.15481	300.1548
0.006	299.87598	299.87602	299.876
0.007	299.67815	299.67029	299.6703
0.008	299.51997	299.51133	299.5113
0.009	299.39765	299.38577	299.3858
0.01	299.29687	299.28468	299.2847

Efisiensi Energi Listrik *Photovoltaic-Thermal* (%)

Material *Reservoir Wall* Aluminium

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Aluminium 0.005 (m)	Ketebalan Aluminium 0.01 (m)	Ketebalan Aluminium 0.015 (m)
0.001	11.17999	11.24748	11.28541
0.002	11.31608	11.36708	11.38081
0.003	11.38463	11.41932	11.42826
0.004	11.43367	11.46043	11.4609
0.005	11.46448	11.4873	11.48463
0.006	11.49203	11.50788	11.50329
0.007	11.51185	11.52683	11.51897
0.008	11.52748	11.54032	11.53228
0.009	11.54277	11.55506	11.54405
0.01	11.5547	11.56259	11.55424

Material *Reservoir Wall* Perak

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Perak 0.005 (m)	Ketebalan Perak 0.01 (m)	Ketebalan Perak 0.015 (m)
0.001	11.32239	11.42945	11.4879
0.002	11.41479	11.49618	11.53423
0.003	11.46858	11.52884	11.5582
0.004	11.50047	11.55424	11.57754
0.005	11.52689	11.57087	11.59062
0.006	11.54659	11.5854	11.60097
0.007	11.56414	11.59751	11.61162
0.008	11.57578	11.60914	11.61815
0.009	11.58675	11.6161	11.62525
0.01	11.59755	11.62421	11.63164

Material Reservoir Wall Tembaga

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Tembaga 0.005 (m)	Ketebalan Tembaga 0.01 (m)	Ketebalan Tembaga 0.015 (m)
0.001	12.07571	12.19409	12.26077
0.002	12.18214	12.2685	12.31752
0.003	12.24042	12.30758	12.34603
0.004	12.28013	12.33482	12.367
0.005	12.30649	12.35438	12.38247
0.006	12.32758	12.37012	12.39547
0.007	12.34666	12.38319	12.40642
0.008	12.36071	12.39394	12.41649
0.009	12.37367	12.40346	12.42467
0.01	12.38473	12.41203	12.43132

Material Reservoir Wall Titanium

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Titanium 0.005 (m)	Ketebalan Titanium 0.01 (m)	Ketebalan Titanium 0.015 (m)
0.001	11.00936	11.01073	11.00001
0.002	11.19811	11.1841	11.16485
0.003	11.28273	11.26759	11.24294
0.004	11.33904	11.31934	11.29369
0.005	11.37937	11.35726	11.32965
0.006	11.40926	11.38615	11.35739
0.007	11.43442	11.4089	11.38012
0.008	11.45512	11.42816	11.3993
0.009	11.47248	11.44484	11.41622
0.01	11.48706	11.4594	11.4301

Energi Listrik sistem *Photovoltaic-Thermal* (W)

Material *Reservoir Wall* Aluminium

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Aluminium 0.005 (m)	Ketebalan Aluminium 0.01 (m)	Ketebalan Aluminium 0.015 (m)
0.001	34.09896	34.30481	34.42051
0.002	34.51403	34.6696	34.71147
0.003	34.72313	34.82893	34.85621
0.004	34.87269	34.9543	34.95574
0.005	34.96666	35.03626	35.02812
0.006	35.05071	35.09903	35.08502
0.007	35.11131	35.1568	35.13285
0.008	35.16159	35.19641	35.1731
0.009	35.20634	35.23756	35.20807
0.01	35.24512	35.2675	35.24079

Material *reservoir wall* Perak

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Perak 0.005 (m)	Ketebalan Perak 0.01 (m)	Ketebalan Perak 0.015 (m)
0.001	34.53328	34.85981	35.03809
0.002	34.81512	35.06334	35.17939
0.003	34.97916	35.16295	35.25252
0.004	35.07643	35.24043	35.3115
0.005	35.15701	35.29117	35.3514
0.006	35.21711	35.33548	35.38295
0.007	35.27061	35.37241	35.41544
0.008	35.30612	35.40789	35.43537
0.009	35.3396	35.42909	35.457
0.01	35.37253	35.45385	35.47651

Material Reservoir Wall Tembaga

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Tembaga 0.005 (m)	Ketebalan Tembaga 0.01 (m)	Ketebalan Tembaga 0.015 (m)
0.001	36.8309	37.19199	37.39534
0.002	37.15553	37.41893	37.56844
0.003	37.33329	37.53812	37.65539
0.004	37.45439	37.62119	37.71936
0.005	37.53478	37.68086	37.76653
0.006	37.5991	37.72886	37.80615
0.007	37.65737	37.76872	37.83982
0.008	37.69998	37.80149	37.86774
0.009	37.73934	37.83022	37.894
0.01	37.77057	37.85674	37.91544

Material reservoir wall Titanium

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Titanium 0.005 (m)	Ketebalan Titanium 0.01 (m)	Ketebalan Titanium 0.015 (m)
0.001	33.57854	33.58274	33.55004
0.002	34.15424	34.1115	34.0528
0.003	34.41233	34.36614	34.29098
0.004	34.58407	34.524	34.44575
0.005	34.70707	34.63963	34.55543
0.006	34.79827	34.72777	34.64004
0.007	34.87511	34.79709	34.7095
0.008	34.93801	34.85585	34.77013
0.009	34.99118	34.90818	34.81996
0.01	35.03504	34.9513	34.86212

Energi Thermal (W)

Material Reservoir Wall Aluminium

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Aluminium 0.005 (m)	Ketebalan Aluminium 0.01 (m)	Ketebalan Aluminium 0.015 (m)
0.001	114.1742	102.89409	94.52409
0.002	135.4343	124.55419	117.08161
0.003	149.94546	139.9649	131.91346
0.004	160.26446	148.5022	142.87172
0.005	170.15866	158.10827	152.90836
0.006	173.55247	166.62756	160.73011
0.007	182.44181	171.21115	167.72111
0.008	188.95061	178.39335	173.84106
0.009	191.71919	177.12869	178.82803
0.01	198.261	187.83461	184.40718

Material reservoir wall Perak

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Perak 0.005 (m)	Ketebalan Perak 0.01 (m)	Ketebalan Perak 0.015 (m)
0.001	90.95234	72.78658	61.80226
0.002	113.3384	94.42793	82.22608
0.003	127.09824	108.94239	96.11511
0.004	139.37503	119.18166	106.23459
0.005	148.42265	128.23995	115.43578
0.006	155.65141	135.59319	123.0361
0.007	162.21614	140.40541	126.86524
0.008	167.03626	143.12554	135.58376
0.009	173.19506	152.32761	140.85287
0.01	177.02671	157.03424	145.54704

Material Reservoir Wall Tembaga

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Tembaga 0.005 (m)	Ketebalan Tembaga 0.01 (m)	Ketebalan Tembaga 0.015 (m)
0.001	99.93968	80.00239	67.94309
0.002	12.20792	103.37828	89.7892
0.003	13.55854	118.44885	104.14609
0.004	15.6055	129.75273	115.19825
0.005	16.21518	138.86587	124.74298
0.006	16.41313	146.47319	132.70942
0.007	17.46175	153.08726	139.07345
0.008	17.8725	158.96174	144.88849
0.009	184.21795	163.91195	150.29221
0.01	188.94559	169.3432	155.41966

Material Reservoir Wall Titanium

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Titanium 0.005 (m)	Ketebalan Titanium 0.01 (m)	Ketebalan Titanium 0.015 (m)
0.001	140.3114	138.1453	135.6687
0.002	159.1336	158.4796	155.4245
0.003	172.7424	171.832	168.9129
0.004	181.9468	181.7031	179.003
0.005	189.7858	189.3887	189.3207
0.006	195.9223	195.3418	196.8974
0.007	200.2381	201.1513	202.7526
0.008	204.8132	205.7018	207.8968
0.009	208.4621	209.0872	213.4136
0.01	212.2521	213.3566	218.0351



Efisiensi Energi *Thermal* (%)

Material *Reservoir Wall* Aluminium

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Aluminium 0.005 (m)	Ketebalan Aluminium 0.01 (m)	Ketebalan Aluminium 0.015 (m)
0.001	37.43416	33.73577	30.9915
0.002	44.40469	40.83744	38.38741
0.003	49.16244	45.89013	43.25032
0.004	52.54572	48.68925	46.84319
0.005	55.78973	51.83878	50.13389
0.006	56.90245	54.63199	52.6984
0.007	59.81699	56.1348	54.99053
0.008	61.95102	58.48962	56.99707
0.009	62.85875	58.07498	58.63214
0.01	65.00361	61.58512	60.46137

Material *Reservoir Wall* Perak

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Perak 0.005 (m)	Ketebalan Perak 0.01 (m)	Ketebalan Perak 0.015 (m)
0.001	29.82044	23.86445	20.26304
0.002	37.16013	30.95998	26.95937
0.003	41.67156	35.71882	31.51315
0.004	45.69673	39.07595	34.83101
0.005	48.66316	42.04589	37.8478
0.006	51.03325	44.45678	40.3397
0.007	53.18562	46.03456	41.59516
0.008	54.76599	46.92641	44.45369
0.009	56.78526	49.94348	46.18127
0.01	58.04154	51.48663	47.72034

Material Reservoir Wall Tembaga

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Tembaga 0.005 (m)	Ketebalan Tembaga 0.01 (m)	Ketebalan Tembaga 0.015 (m)
0.001	32.76711	26.23029	22.27642
0.002	40.72391	33.89452	29.43908
0.003	45.7569	38.83569	34.14626
0.004	49.37885	42.54188	37.76993
0.005	52.52952	45.52979	40.89825
0.006	54.8898	48.024	43.50895
0.007	56.86703	50.19182	45.55897
0.008	58.9029	51.88082	47.51159
0.009	60.44535	53.9029	49.19041
0.01	61.79696	55.47076	50.92382

Material Reservoir Wall Titanium

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Titanium 0.005 (m)	Ketebalan Titanium 0.01 (m)	Ketebalan Titanium 0.015 (m)
0.001	46.00374	45.29355	44.48154
0.002	52.17496	51.96052	50.95883
0.003	56.63686	56.33835	55.38127
0.004	59.65467	59.5748	58.68951
0.005	62.22477	62.09461	62.07238
0.006	64.23735	64.04692	64.55634
0.007	65.65867	65.94936	66.47142
0.008	67.21766	67.4204	68.22809
0.009	68.54929	68.99203	69.84527
0.01	69.43598	69.8516	71.30777



Efisiensi Energi Total *Photovoltaic-Thermal* (%)

Material Reservoir Wall Aluminium

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Aluminium 0.005 (m)	Ketebalan Aluminium 0.01 (m)	Ketebalan Aluminium 0.015 (m)
0.001	48.61415	44.98325	42.27692
0.002	55.72076	52.20452	49.76822
0.003	60.54708	57.30945	54.67858
0.004	63.97939	60.14967	58.30409
0.005	67.25421	63.32608	61.61852
0.006	68.39448	66.13987	64.20169
0.007	71.32884	67.66163	66.5095
0.008	73.4785	70.02994	68.52935
0.009	74.40152	69.63004	70.17619
0.01	76.55831	73.1477	72.01561

Material Reservoir Wall Perak

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Perak 0.005 (m)	Ketebalan Perak 0.01 (m)	Ketebalan Perak 0.015 (m)
0.001	41.14282	35.2939	31.75093
0.002	48.57493	42.45615	38.4936
0.003	53.14013	47.24765	43.07135
0.004	57.1972	50.63019	46.40855
0.005	60.19005	53.61676	49.43842
0.006	62.57984	56.04219	51.94067
0.007	64.74975	57.63207	53.20678
0.008	66.34176	58.53555	56.07185
0.009	68.37202	61.55957	57.80652
0.01	69.6391	63.11085	59.35198

Material Reservoir Wall Tembaga

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Tembaga 0.005 (m)	Ketebalan Tembaga 0.01 (m)	Ketebalan Tembaga 0.015 (m)
0.001	44.84281	38.42439	34.53719
0.002	52.90605	46.16302	41.75661
0.003	57.99732	51.14327	46.49229
0.004	61.65898	54.87669	50.13693
0.005	64.836	57.88417	53.28071
0.006	67.21737	60.39412	55.90442
0.007	69.21369	62.57501	57.96539
0.008	71.2636	64.27476	59.92808
0.009	72.81903	66.30636	61.61508
0.01	74.18169	67.88279	63.35514

Material reservoir wall Titanium

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Titanium 0.005 (m)	Ketebalan Titanium 0.01 (m)	Ketebalan Titanium 0.015 (m)
0.001	57.0131	56.30429	55.48155
0.002	63.37307	63.14462	62.12369
0.003	67.91959	67.60594	66.62421
0.004	70.99371	70.89414	69.9832
0.005	73.60414	73.45187	73.40203
0.006	75.64661	75.43307	75.91373
0.007	77.09309	77.35826	77.85154
0.008	78.67278	78.84856	79.6274
0.009	80.02177	80.43687	81.26149
0.01	80.92304	81.311	82.73787

Efisiensi *Primary Energy Saving* (%)

Material Reservoir Wall Aluminium

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Aluminium 0.005 (m)	Ketebalan Aluminium 0.01 (m)	Ketebalan Aluminium 0.015 (m)
0.001	37.72837	34.03175	38.68691
0.002	44.70248	41.13657	38.68691
0.003	49.46204	46.19064	43.55106
0.004	52.84661	48.99084	47.14479
0.005	56.09142	52.14108	50.43612
0.006	57.20474	54.93481	53.00428
0.007	60.09299	56.38086	55.29152
0.008	62.39561	58.64391	57.12628
0.009	63.61321	60.08713	59.14629
0.01	65.39195	61.63058	60.85872

Material Reservoir Wall Perak

Kecepatan Aliran	Ketebalan Perak 0.005 (m)	Ketebalan Perak 0.01 (m)	Ketebalan Perak 0.015 (m)
0.001	30.1184	24.16523	20.56535
0.002	37.46052	31.26251	27.2629
0.003	41.97336	36.02221	31.81731
0.004	45.99937	39.38001	35.13568
0.005	48.96642	42.35038	38.15281
0.006	51.33731	44.76167	40.64501
0.007	53.46576	46.34126	41.89775
0.008	55.35465	48.51027	44.75584
0.009	56.92179	50.17679	46.47509
0.01	58.6616	51.72074	48.09223

Material Reservoir Wall Tembaga

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Tembaga 0.005 (m)	Ketebalan Tembaga 0.01 (m)	Ketebalan Tembaga 0.015 (m)
0.001	33.08489	33.08489	22.59908
0.002	41.04449	41.04449	29.76323
0.003	46.07901	46.07901	34.47115
0.004	49.70201	49.70201	38.09537
0.005	52.8534	52.8534	41.22488
0.006	55.21397	55.21397	43.8279
0.007	57.19395	57.19395	45.92888
0.008	59.28087	59.28087	47.77443
0.009	60.74629	60.74629	49.6133
0.01	62.31899	62.31899	51.20016

Material Reservoir Wall Titanium

Kecepatan Aliran (m/s)	Ketebalan Titanium 0.005 (m)	Ketebalan Titanium 0.01 (m)	Ketebalan Titanium 0.015 (m)
0.001	46.88739	46.17731	45.36443
0.002	53.07375	52.85819	51.85496
0.003	57.54245	57.24272	56.28366
0.004	60.56478	60.48332	59.59597
0.005	63.13813	63.00625	62.98173
0.006	65.15326	64.96041	65.4679
0.007	66.57685	66.86667	67.38246
0.008	68.02818	68.55213	69.1443
0.009	69.33475	69.65176	70.75525
0.01	70.28095	70.98262	72.17124



LAMPIRAN B

Aliran Laminar

$$\text{Bilangan reynold} = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$Re = \frac{0.001 \times 0.002 \times 1000}{9.14 \times 10^{-7}}$ $= 218.18$	$Re = \frac{0.006 \times 0.002 \times 1000}{9.14 \times 10^{-7}}$ $= 1.312,91$
$Re = \frac{0.002 \times 0.002 \times 1000}{9.14 \times 10^{-7}}$ $= 437.63$	$Re = \frac{0.007 \times 0.002 \times 1000}{9.14 \times 10^{-7}}$ $= 1.531,91$
$Re = \frac{0.003 \times 0.002 \times 1000}{9.14 \times 10^{-7}}$ $= 656.45$	$Re = \frac{0.008 \times 0.002 \times 1000}{9.14 \times 10^{-7}}$ $= 1.750,54$
$Re = \frac{0.004 \times 0.002 \times 1000}{9.14 \times 10^{-7}}$ $= 875.27$	$Re = \frac{0.009 \times 0.002 \times 1000}{9.14 \times 10^{-7}}$ $= 1.969,36$
$Re = \frac{0.005 \times 0.002 \times 1000}{9.14 \times 10^{-7}}$ $= 1.094,09$	$Re = \frac{0.01 \times 0.002 \times 1000}{9.14 \times 10^{-7}}$ $= 2.188,18$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LAMPIRAN C

Validasi

Temperatur sel

$$T_C = T_a \frac{(T_{NOCT} - 20)}{800} \times G_T$$

$$T_C = 25 \frac{(44 - 20)}{800} \times 1000$$

$$= 25 + (44 - 20) \times 1.25$$

$$= 61.25$$

$$= 61.25 + 273.15 \text{ (Temperatur Kelvin)}$$

$$= 334.4 \text{ K}$$

Persentase Error PV

$$= T. \text{ PV simulasi} - T. \text{ PV Manual} \times \frac{100}{T. \text{ PV Manual}}$$

$$= 340.757 \text{ K} - 334.4 \text{ K} \times \frac{100}{329.4 \text{ K}}$$

$$= 6.357 \text{ K} \times \frac{100}{334.4 \text{ K}}$$

$$= 6.357 \times 0.299$$

$$= 1.900 \%$$

Persentase Error PV/T

$$= T. \text{ simulasi} - T. \text{ Penelitian[16]} \times \frac{100}{T. \text{ Penelitian[16]}}$$

$$= 317.73 \text{ K} - 317.5 \text{ K} \times \frac{100}{317.5 \text{ K}}$$

$$= 0.23 \text{ K} \times \frac{100}{334.4 \text{ K}}$$

$$= 0.23 \text{ K} \times 0.314$$

$$= 0.072 \%$$

Hak Cipta Ditanggung Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LAMPIRAN D

Efisiensi Sel PV

Energi Listrik Sel PV/T

$$= \eta \times G \times A$$

$$= 13 \% \times 1000 \times 30.5 = 39.65 \text{ W}$$

$$\text{Performa energi Listrik} = \frac{\text{Energi Listrik}}{\text{Energi Listrik sel PV/T}} \times 100$$

Aluminium

$$t_{ch} = 0.005$$

$$v_{in} = 0.001$$

$$= \frac{34,09896}{39,65} \times 100 = 87.5740 \%$$

Perak

$$t_{ch} = 0.01$$

$$v_{in} = 0.003$$

$$= \frac{35,16295}{39,65} \times 100 = 88.68335 \%$$

Tembaga

$$t_{ch} = 0.015$$

$$v_{in} = 0.006$$

$$= \frac{37,80615}{39,65} \times 100 = 95.3496 \%$$

Titanium

$$t_{ch} = 0.015$$

$$v_{in} = 0.009$$

$$= \frac{34,81996}{39,65} \times 100 = 87.8183 \%$$

Performa PV (%)	Kecepatan Aliran (m/s)	Performa Energi Listrik PV/T (%)											
		Aluminium			Perak			Tembaga			Titanium		
		0.005	0.01	0.015	0.005	0.01	0.015	0.005	0.01	0.015	0.005	0.01	0.015
0.001	76.9917	85,99989	86,51907	86,81087	87,09528	87,91881	88,36844	92,89003	93,80073	94,31359	84,68736	84,69796	84,61549
0.002		87,04673	87,43909	87,54469	87,8061	88,43213	88,72481	93,70877	94,37309	94,75016	86,13932	86,03153	85,88348
0.003		87,57409	87,84093	87,90974	88,21982	88,68335	88,90925	94,157099	94,67369	94,96946	86,79024	86,67375	86,48419
0.004		87,95129	88,15712	88,16076	88,46514	88,87876	89,05800	94,462522	94,8832	95,13079	87,22338	87,07188	86,87453
0.005		88,1882	88,36383	88,3433	88,66837	89,00673	89,15863	94,665271	95,03369	95,24976	87,53359	87,36351	87,15115
0.006		88,40027	88,52214	88,48681	88,81994	89,11848	89,23820	94,827490	95,15475	95,34968	87,76361	87,5858	87,36454
0.007		88,55311	88,66784	88,60744	88,95485	89,21162	89,32015	94,974451	95,25528	95,4346	87,9574	87,76063	87,53972
0.008		88,67992	88,76774	88,70895	89,04443	89,30110	89,37041	95,081916	95,33793	95,50502	88,11604	87,90883	87,69264
0.009		88,79278	88,87153	88,79715	89,12887	89,35457	89,42496	95,181185	95,41039	95,57125	88,25014	88,04081	87,81831
0.01		88,89059	88,94704	88,87967	89,21192	89,41702	89,47417	95,259949	95,47728	95,62532	88,36076	88,14956	87,92464



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Muhammad Faisal, kelahiran Banda Aceh, 16 Februari 1996 merupakan anak ketiga dari lima saudara, buah hati dari pasangan Syahrul dan Nazira. Penulis menempuh pendidikan SD Negeri 3 Banda Aceh dan lulus pada tahun 2008, selanjutnya penulis meneruskan pendidikan di SMP Negeri 17 Banda Aceh dan lulus pada tahun 2011, selanjutnya penulis meneruskan pendidikan SMK Negeri 2 Banda Aceh dan lulus pada tahun 2014, dan melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Teknik Elektro konsentrasi Energi lulus pada tahun 2019.

Dengan karunia Allah SWT, ketekunan serta rasa motivasi yang tinggi untuk terus belajar dan berusaha, penulis telah berhasil menyelesaikan tugas akhir ini. Semoga dengan penulisan tugas akhir ini mampu memberikan manfaat dan kontribusi untuk siapa saja yang membutuhkannya.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas terselesaikannya tugas akhir yang berjudul “ **Analisis Performa Energi Listrik Sistem Photovoltaic-Thermal (PV/T) Dengan Pengaplikasian Tedlar Dan Kaca Pelindung**”.

No Headphone

Email

Judul Tugas Akhir

: 0812-6091-8354

: Muhammadisan03@gmail.com

: Analisis Performa Energi Listrik Sistem *Photovoltaic-Thermal* (PV/T) Dengan Pengaplikasian Tedlar Dan Kaca Pelindung.

UIN SUSKA RIAU